



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK
MENGUNAKAN STRUKTUR *CABLE STAYED* DI
PONTIANAK, KALIMANTAN BARAT

ADHI DHARMA PRASETYO
NRP. 03111440000142

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Bambang Piscesa, S.T., M.T.,

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK
MENGUNAKAN STRUKTUR *CABLE STAYED* DI
PONTIANAK, KALIMANTAN BARAT**

ADHI DHARMA PRASETYO
NRP. 03111440000142

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Bambang Piscesa, S.T., M.T.,

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT (RC14-1501)

**DESIGN MODIFICATION OF LANDAK BRIDGE WITH
CABLE STAYED STRUCTURE IN PONTIANAK, WEST
KALIMANTAN**

ADHI DHARMA PRASETYO
NRP. 03111440000142

Academic Supervisor I
Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo M., MS

Academic Supervisor II
Bambang Pisceca, S.T., M.T.,

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil, Environtmen and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK
MENGUNAKAN STRUKTUR *CABLE STAYED* DI
PONTIANAK, KALIMANTAN BARAT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Struktur

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih-
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

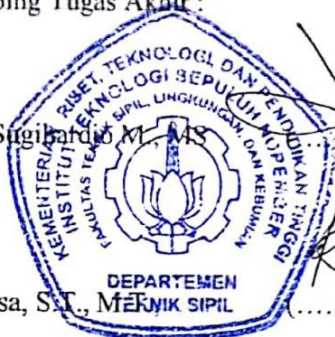
ADHI DHARMA PRASETYO

NRP. 03111440000142

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Hidajat Sugibardjo, M. Eng

2. Bambang Pisceca, S.T., M. Eng



**SURABAYA
MEI 2018**

MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK MENGUNAKAN STRUKTUR CABLE STAYED DI PONTIANAK, KALIMANTAN BARAT

Nama Mahasiswa : Adhi Dharma Prasetyo
NRP : 03111440000142
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo M., Ms
Bambang Piscesa, ST., MT

Abstrak

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya.

Dengan melihat fungsi sarana transportasi yang cukup besar dan vital bagi kehidupan khususnya untuk menunjang perekonomian di daerah Pontianak, maka dibangun Jembatan Landak II sebagai penghubung kabupaten Pontianak Timur dan kabupaten Pontianak Barat.

Dalam perencanaan modifikasi Jembatan Landak II akan dibangun dengan menggunakan konstruksi cable-stayed Two Vertical Planes System. Jembatan ini dibagi menjadi dua bentang dengan panjang masing-masing bentang 96.75 m serta lebar jalan jembatan 16,5 meter. Konfigurasi kabel menggunakan Semi-harp Pattern. Material yang menyusun lantai kendaraan berupa elemen komposit antara pelat baja gelombang (Compodeck) dengan beton bertulang. Sedangkan untuk gelagar jembatan menggunakan twin box girder baja. Struktur Pylon dari beton bertulang terletak pada bagian pemisah jalur jembatan yang berada pada kedua tepi sungai.

Adapun hasil dari perencanaan ini struktur sekunder jembatan terdiri atas railing dengan profil baja hollow diameter 60,5, trotoar dengan tebal 200 mm, pelat lantai kendaraan dengan tebal pelat beton 200 mm dan aspal 50 mm, dan gelagar yang

terdiri dari gelagar melintang WF 1650.550.16.35, gelagar memanjang WF 400.300.9.14, serta gelagar kantilever WF 300.200.9.14. untuk sambungan gelagar kantilever dan gelagar melintang menggunakan sambungan las dan juga baut pada sayap dan badan, sedangkan untuk gelagar memanjang menggunakan sambungan baut dengan plat L. Struktur utama terdiri atas gelagar utama yang menggunakan twin rectangular box girder 3500.2500.70.70, kemudian stay cable tersusun atas 7-wire strand yang mempunyai 4 macam diameter dan pylon yang didesain menggunakan material beton bertulang dengan dimensi 4500 mm x 3500 mm dengan rongga didalamnya. Untuk permodelan struktur utama dan analisa struktur menggunakan program bantu MIDAS/Civil dengan pembebanan statis dan dinamis, selanjutnya analisa metode pelaksanaan (staging analysis) menggunakan metode demolishing procedure melalui backward solution. Selanjutnya jembatan juga dianalisa stabilitas aerodinamis yang meliputi kontrol terhadap frekuensi alami, efek flutter, dan juga vortex-shedding.

Kata kunci: Jembatan, cable stayed, semi-harp pattern, twin rectangular box

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFICATION DESIGN OF LANDAK BRIDGE USING CABLE STAYED STRUCTURE IN PONTIANAK, WEST KALIMANTAN

Nama Mahasiswa : Adhi Dharma Prasetyo
NRP : 03111440000142
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo M., Ms
Bambang Piscesa, ST., MT

Abstract

Mode of transportation is a requisite that human always need. It provides convenience to every aspect of life. Bridge is one of the most crucial mode of transportation. Bridge is a construction that provides a road to cross a river, a valley, an unlevel terrain, etc. The role of it affects many aspect of life, mainly economical, social, and cultural climate in a region.

Reviewing how pivotal the role of this mode of transportation in every aspect in life, especially in Pontianak, Jembatan Landak II in Pontianak, West Kalimantan is built to connect Kabupaten Pontianak Timur and Kabupaten Pontianak Barat.

In modification design of Jembatan Landak II, cable-stayed Two Vertical Planes System construction is used. The bridge is divided into two span, by 96.75 m length and by 16.5 m width each. Cable configuration uses Semi-harp Pattern. Material that composed the deck is composite compodeck and reinforced concrete. For the main girder uses steel twin box girder. Pylon structure from reinforced concrete is located on the both of the river banks

Secondary structure of the bridge comprised of railing with hollow steel profile 60,5 diameter, curb 200 mm thickness, deck plate with 200 mm concrete thickness & 50 mm asphalt thickness, girder which comprised of WF 1650.550.16.35

transverse girder, WF 400.300.9.14 stringer, and WF 300.200.9.14 cantilever girder. The connection of cantilever girder and transverse girder is using welding connection and bolt for the flange and web, meanwhile for the stringer is connected by bolt and L-plate. The main structure is consist of main girder tht use twin rectangular box girder 3500.2500.70.70, cable stay composed with 7-wire strand with four type of different diameter and pylon designed by reinforced concrete with 4500 mm x 3500 mm dimension with hollow reinforced concrete. Main structure modeling and structure analysis utilizing MIDAS/Civil with static and dynamic load, followed by staging analysis using demolishing procedure method through backward solution. Aerodynamic stability of the bridge is also analyzed through natural frequency control, flutter effect control, and vortex-shedding control.

Keyword: Bridge, cable stayed, semi-harp pattern, twin rectangular box.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan petunjuk dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.

Proposal Tugas Akhir ini membahas “Modifikasi Desain Jembatan Landak Menggunakan Struktur *Cable Stayed* di Pontianak, Kalimantan Barat”. Dalam Tugas Akhir ini secara garis besar membahas tentang perencanaan jembatan dengan jenis *Cable-stayed*. Pada akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo M., MS dan Bapak Bambang Pisceca, ST., MT. selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Yusronia Eka Putri Rachman W., ST., MT. selaku Dosen Wali.
3. Bapak dan Ibu dosen serta staf pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS.
4. Orang tua yang selalu memberikan dukungan moral maupun material selama berkuliah serta doa yang tiada hentinya.
5. Rekan – rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah membantu penyusunan Proposal Tugas akhir ini. Dalam penulisan laporan ini, saya menyadari bahwa masih ada kekurangan. Maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan demi laporan ini.

Semoga proposal ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, Juni 2018
(Penulis)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Abstrak.....	ii
Abstract.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Maksud dan Tujuan	4
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Jembatan <i>Cable stayed</i>.....	7
2.2. Kabel	8
2.2.1. Sistem Kabel.....	8
2.2.2. Jenis Kabel.....	11
2.3. Lantai Kendaraan.....	14
2.4. <i>Pylon</i>	17
2.5. Metode <i>Erection</i>	18
2.5.1. <i>Constrution on Temporary Supports</i>	18
2.5.2. <i>Construction by Rotation</i>	19
2.5.3. <i>Construction by Cantilever Method</i>	20
BAB III METODOLOGI	23
3.1. Diagram Alir.....	23
3.2. Pengumpulan Data dan Studi Literatur	24
3.3. <i>Preliminary Design</i>	24
3.3.1. Konfigurasi kabel	24
3.3.2. Kabel.....	26
3.3.3. Dimensi Gelagar dan Dimensi Struktur <i>Pylon</i>	28
3.3.4. Dimensi Struktur <i>Pylon</i>	29
3.4. Perencanaan Struktur Sekunder	31
3.4.1. Pelat Lantai Kendaraan.....	31

3.4.2.	Tiang Sandaran (<i>Railing</i>).....	33
3.4.3.	Gelagar Memanjang	34
3.4.4.	Gelagar Melintang	35
3.5.	Analisa Struktur Utama	37
3.5.1.	Pembebanan Statis	37
3.5.2.	Pembebanan Dinamis	42
3.6.	Analisa Perilaku Dinamis	44
3.6.1.	Perilaku Aerodinamik.....	44
3.6.2.	Osilasi Gaya Akibat Pusaran Angin (Vortex-Shedding).....	45
3.6.3.	Efek Ayunan (<i>flutter</i>).....	46
3.7.	Desain Angker	47
3.7.1.	Desain Angker pada Gelagar	47
3.7.2.	Desain Angker pada <i>Pylon</i>	48
3.8.	Kontrol Stabilitas	49
3.9.	<i>Stagging Analysis</i>	49
3.10.	Menyusun Gambar Kerja	49
BAB IV	PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN	51
4.1.	<i>Preliminary Design</i>	51
4.1.1.	Gelagar	51
4.1.2.	<i>Box girder</i>	53
4.1.3.	Kabel.....	54
4.1.4.	Struktur <i>Pylon</i>	64
4.2.	Struktur Sekunder	67
4.2.1.	Pipa Sandaran	67
4.2.2.	Tiang Sandaran.....	70
4.2.3.	Pelat Lantai Kendaraan.....	73
4.2.4.	Trotoar	80
4.3.	Gelagar.....	84
4.3.1.	Gelagar Memanjang	84
4.3.2.	Gelagar Melintang	96
4.3.3.	Gelagar Kantilever.....	116
4.4.	Permodelan dan Analisa Struktur.....	129
4.4.1.	Permodelah Struktur	129
4.4.2.	Analisa Statis	130

4.4.3.	Analisa Dinamis	138
4.5.	Box Girder	146
4.5.1.	Perencanaan Box Girder	146
4.5.2.	Hasil Analisa Struktur	148
4.5.3.	Kontrol Kemampuan Penampang.....	148
4.5.4.	Hasil Analisa Struktur saat Kabel Putus	156
4.5.5.	Kontrol Kemampuan Penampang saat Kabel Putus 156	
4.5.6.	Kontrol Lendutan Box Girder.....	164
4.5.7.	Sambungan Box.....	165
4.6.	Struktur Kabel	171
4.6.1.	Data Perencanaan	171
4.6.2.	Gaya <i>Stressing</i>	172
4.6.3.	Analisa Penampang Kabel.....	176
4.7.	Struktur Pylon	180
4.7.1.	Kolom <i>Pylon</i>	181
4.7.2.	<i>Upper Cross Beam</i>	196
4.7.3.	<i>Lower Cross Beam</i>	207
4.7.3.	<i>Stroot</i>	219
4.8.	Perilaku Aerodinamis.....	231
4.8.1.	Frekuensi Alami	231
4.8.2.	Efek Pusaran Angin (<i>Vortex-Shedding</i>).....	236
4.8.3.	Efek Ayunan (<i>Flutter</i>)	241
4.9.	Analisa <i>Staging</i>	246
4.9.1.	Analisa Pembebanan <i>Staging</i>	246
4.9.2.	Pembebanan Kabel	249
4.9.3.	Konfigurasi Pembebanan.....	249
4.9.4.	Tahapan Analisa <i>Staging</i>	250
4.9.5.	Hasil Analisa <i>Staging</i>	256
4.10.	Perhitungan Anker	258
4.10.1.	Perhitungan Anker pada Box	258
4.10.2.	Perhitungan Anker pada <i>Pylon</i>	262
4.11.	Desain Perletakan	269
4.11.1.	Desain Pot Bearing.....	269
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	273

5.1.	Kesimpulan.....	273
5.2.	Saran	276
DAFTAR PUSTAKA		277
LAMPIRAN.....		281

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Preliminary Box Girder	53
Gambar 4.2 Penampang Melintang Dek (dalam meter)	54
Gambar 4.3 Susunan Kabel Arah Memanjang Berupa Semi-Harp Pattern (dalam milimeter)	55
Gambar 4.4 Susunan Kabel Arah Melintang Berupa Double Planes System (dalam meter)	55
Gambar 4.5 Tataan sistem kabel dan penamaan kabel	56
Gambar 4. 6 Reaksi gelagar melintang yang dipikul kabel	57
Gambar 4.7 Tataan sistem kabel	63
Gambar 4.8 Dimensi Penampang Pylon (Menara)	66
Gambar 4.9 Gambar Rencana Pylon	67
Gambar 4.10 Tiang sandaran	68
Gambar 4.11 Profil dan gaya pipa sandaran	68
Gambar 4. 12 Panampang Pipa Sandaran	70
Gambar 4.13 Pelat lantai kendaraan	74
Gambar 4.14 Tampak samping ilustrasi Geser Pons	78
Gambar 4.15 Tampak atas ilustrasi Geser Pons	79
Gambar 4.16 Trotoar	80
Gambar 4. 17 Gelagar Memanjang Jembatan	85
Gambar 4. 18 Faktor Beban Dinamis (SNI 1725:2016 Gambar 28)	86
Gambar 4.19 Titik Momen pada Gelagar Memanjang	88
Gambar 4.20 Hasil analisis SAP2000 Untuk Lendutan Yang Terjadi Akibat Beban Truk	91
Gambar 4.21 Hasil analisis SAP2000 Untuk Lendutan Yang terjadi Akibat Beban Terbagi Rata	91
Gambar 4.22 Detail Sambungan Gelagar Memanjang Ke Gelagar Melintang	95
Gambar 4. 23 Detail Sambungan Gelagar Memanjang	95
Gambar 4. 24 Detail Sambungan Potongan Tampak Samping ...	96
Gambar 4.25 Pembebanan Truk Tipe 1	98
Gambar 4.26 Pembebanan Truk Tipe 2	98
Gambar 4.27 Pembebanan Truk Tipe 3	98

Gambar 4.28 Gambar Pembebanan dan Hasil Momen Akibat Pembebanan Truk Tipe 1.....	100
Gambar 4.29 Gambar Pembebanan dan Hasil Momen Akibat Pembebanan Truk Tipe 2.....	100
Gambar 4.30 Gambar Pembebanan dan Hasil Momen Akibat Pembebanan Truk Tipe 1.....	100
Gambar 4.31 Gambar diagram profil	104
Gambar 4.32 Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi	106
Gambar 4.33 Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi Akibat Beban Terbagi Rata	107
Gambar 4.34 Detail Sambungan Gelagar Melintang Ke Gelagar Melintang.....	113
Gambar 4.35 Detail Sambungan Gelagar Melintang Tampak Melintang.....	114
Gambar 4.36 Detail Sambungan Gelagar Melintang Tampak Atas.	115
Gambar 4.37 Detail Sambungan Las Gelagar Melintang.....	115
Gambar 4.38 Gelagar kantilever jembatan.....	116
Gambar 4.39 Hasil Analisis SAP2000 Untuk Lendutan Yang Terjadi Pada Gelagar Kantilever	120
Gambar 4.40 Detail Sambungan Gelagar Kantilever	126
Gambar 4.41 Detail Sambungan Potongan Melintang	127
Gambar 4.42 Detail Tampak Atas Sambungan Gelagar Kantilever	127
Gambar 4.43 Detail Las Gelagar Kantilever	128
Gambar 4.44 Tampak Perspektif Jembatan.....	129
Gambar 4.45 Tampak Memanjang Jembatan.....	129
Gambar 4.46 Tampak Melintang Jembatan.....	130
Gambar 4.47 Tampak Atas Jembatan.....	130
Gambar 4.48 Tampak Melintang Dek Jembatan	130
Gambar 4.49 Ilustrasi Beban Rem Berupa Gaya Horizontal Dan Momen Torsi	132
Gambar 4.50 Ilustrasi Beban Angin Kendaraan Menjadi Momen Torsi.....	134

Gambar 4.51 Konfigurasi beban hidup	135
Gambar 4.52 Data N-SPT Tanah Pada Lokasi Proyek.....	141
Gambar 4.53 Gambar Sketsa Penampang Box Girder	146
Gambar 4.54 Detail Gelagar Utama (satuan mm)	147
Gambar 4.55 Analisa Section Data dan Section Properties.....	148
Gambar 4.56 Penampang Box	152
Gambar 4.57 Kordinat Box	153
Gambar 4.58 Asumsi 1 Kabel Putus	156
Gambar 4.59 Grafik perbandingan momen y pada box girder sebelum dan sesudah satu kabel putus.....	162
Gambar 4.60 Detail A	163
Gambar 4.61 Grafik Perbandingan Axial Pada Box Girder Sebelum Dan Sesudah Satu Kabel Putus.....	164
Gambar 4.62 Detail B.....	164
Gambar 4.63 Lendutan Akibat Beban Hidup di MIDAS CIVIL	165
Gambar 4.64 Sambungan Gelagar Utama Pada Badan	169
Gambar 4.65 Sambungan Gelagar Utama Pada Sayap.....	169
Gambar 4.66 Tampak Melintang Sambungan Box	170
Gambar 4.67 Tatanan System Kabel dan Penamaan Kabel	171
Gambar 4.68 Flowchart perhitungan kabel	173
Gambar 4.69 Grafik Perbandingan Kemampuan Kabel Dengan Gaya Tarik Yang Diterima Kabel.....	179
Gambar 4.70 Penampang Pylon	180
Gambar 4.71 Section properties penampang kolom.....	181
Gambar 4.72 Koordinat kolom pylon.....	182
Gambar 4.73 Desain Penampang Dan Tulangan Longitudinal Pylon Pada Program Bantu Spcolumn.....	186
Gambar 4.74 Grafik Diagram Interaksi SpColumn Arah Z	186
Gambar 4.75 Grafik Diagram Interaksi SpColumn arah Y	187
Gambar 4.76 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Sendi Plastis.....	194
Gambar 4.77 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Luar Sendi Plastis.....	195
Gambar 4.78 Koordinat Upper Cross Beam.....	196

Gambar 4.79 Section Properties Penampang Upper Cross Beam	196
Gambar 4.80 Desain Penampang Dan Tulangan Longitudinal Balok Pada Program Bantu Spcolumn	197
Gambar 4.81 Grafik Diagram Interaksi SpColumn Arah X.....	198
Gambar 4. 82 Grafik Diagram Interaksi Spcolumn Arah Y.....	198
Gambar 4.83 Desain penulangan Upper cross beam Sendi Plastis	206
Gambar 4.84 Desain Penulangan Upper Cross Beam Luar Sendi Plastis.....	206
Gambar 4.85 Koordinat Lower cross beam.....	207
Gambar 4.86 Section Properties Penampang Lower Cross Beam	208
Gambar 4.87 Desain Penampang Dan Tulangan Longitudinal Balok Pada Program Bantu spColumn	209
Gambar 4.88 Grafik Diagram Interaksi SpColumn Arah X.....	209
Gambar 4.89 Grafik Diagram Interaksi SpColumn Arah Y	210
Gambar 4.90 Desain penulangan Lower cross beam Sendi Plastis	218
Gambar 4.91 Desain Penulangan Lower Cross Beam Luar Sendi Plastis.....	218
Gambar 4.92 Koordinat Lower Cross Beam	219
Gambar 4.93 Section Properties Penampang Stroot.....	220
Gambar 4.94 Desain penampang dan tulangan longitudinal balok pada program bantu spColumn	221
Gambar 4.95 Grafik diagram interaksi SpColumn arah X	222
Gambar 4.96 Grafik diagram interaksi SpColumn arah Y	222
Gambar 4.97 Desain penulangan Lower cross beam Sendi Plastis	229
Gambar 4.98 Desain penulangan Lower cross beam Luar Sendi Plastis.....	230
Gambar 4. 99 Mode frekuensi lentur f_B	232
Gambar 4.100 Mode frekuensi torsi f_T	234
Gambar 4.101 Grafik f_B dan f_T	236
Gambar 4. 102 Macam penampang deck	238

Gambar 4.103 Koefisien C_N	238
Gambar 4.104 Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan amplitudo	240
Gambar 4.105 Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan percepatan	241
Gambar 4.106 Efek Flutter Dengan Perbedaan Fase $\pi/2$	242
Gambar 4.107 Kecepatan Kritis Teoritis Untuk Flutter	244
Gambar 4.108 Grafik Koefisien Koreksi.....	245
Gambar 4.109 Form Traveler Yang Digunakan.....	247
Gambar 4.110 Spesifikasi Form Traveler (Memanjang-Melintang)	248
Gambar 4.111 Permodelan dan input beban pada form traveler.....	248
Gambar 4.112 Hasil Analisa Reaksi Pada Form Traveler.....	249
Gambar 4.113 Segmental deck untuk staging analysis pada.....	250
Gambar 4.114 Gambar Anker Pada Deck	258
Gambar 4.115 Detail anker VSL SSI 2000 untuk deck.....	259
Gambar 4.116 Pelat Anker Tendon.....	261
Gambar 4.117 Detail Anker Pada Pylon	263
Gambar 4.118 Dimensi Angkur	263
Gambar 4.119 Detail anker VSL SSI 2000	264
Gambar 4.120 Layout Penempatan Perletakan	269
Gambar 4.121 Unidirectional Pot Bearing	270

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Jenis Kabel dan Anker.....	56
Tabel 4.2 Perhitungan Penampang dan Jumlah Strand Kabel.....	61
Tabel 4.3 Perhitungan Penampang dan Jumlah Strand Kabel.....	62
Tabel 4.4 Perhitungan modulus elastisitas ekivalen.....	63
Tabel 4.5 Perhitungan gaya aksial pada pylon	65
Tabel 4.6 Nilai V0 dan Z0 Untuk Variasi Kondisi Permukaan Hulu	133
Tabel 4.7 Tekanan Angin Dasar.....	133
Tabel 4. 8 Tabel Kombinasi Beban dan Faktor Beban.....	134
Tabel 4.9 Kombinasi pembebanan statik.....	135
Tabel 4.10 Hasil Analisa Struktur Static Box Girder	136
Tabel 4.11 Hasil Analisa Strktur Static Pylon.....	136
Tabel 4.12 Hasil Analisa Struktur Static Upper Cross Beam....	137
Tabel 4.13 Hasil Analisa Struktur Static Lower Cross Beam ...	137
Tabel 4.14 Hasil Analisa Struktur Static Stroot	138
Tabel 4.15 Nilai Koefisien Gempa.....	139
Tabel 4.16 Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Bangunan Bawah	141
Tabel 4.17 Kombinasi pembebanan dinamis.....	143
Tabel 4. 18 Hasil Analisa Struktur Dinamis Box Girder.....	143
Tabel 4.19 Hasil Analisa Struktur Dinamis Pylon	144
Tabel 4. 20 Hasil Analisa Struktur Static Upper Cross Beam...	144
Tabel 4.21 Hasil Analisa Struktur Static Lower Cross Beam ...	145
Tabel 4.22 Hasil Analisa Struktur Static Stroot	145
Tabel 4.23 Gaya dalam pada Box Girder	148
Tabel 4. 24 Gaya Dalam Pada Gelagar Utama Saat Kabel Putus	156
Tabel 4.25 Jenis Kabel	171
Tabel 4.26 Perhitungan Penampang Dan Jumlah Strand Kabel	172
Tabel 4.27 Gaya kabel akibat pretension 1 kN (tunning cable)	174
Tabel 4. 28 Kebutuhan Luas Penampang Kabel Akibat Pretension 1 kN	174
Tabel 4. 29 Gaya Masing-Masing Kabel.....	175

Tabel 4.30 Kebutuhan luas penampang kabel sebenarnya (Apakai)	175
Tabel 4.31 Gaya kabel sebenarnya (P)	176
Tabel 4.32 Kontrol kemampuan kabel dari A_{spakai}	177
Tabel 4.33 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon	194
Tabel 4.34 Rekapitulasi Penulangan Upper Cross Beam	205
Tabel 4.35 Rekapitulasi Penulangan Lower Cross Beam	217
Tabel 4.36 Rekapitulasi Penulangan Stroot	229
Tabel 4.37 Nilai f_B dan f_T	234
Tabel 4.38 Spesifikasi Form Traveler	247
Tabel 4.39	249
Tabel 4.40 Konfigurasi Pembebanan Untuk Staging Analysis	249
Tabel 4.41 Hasil Analisa Staging Box Girder (dalam satuan kN)	256
Tabel 4.42 Hasil Analisa Staging Pylon (dalam satuan kN)	256
Tabel 4.43 Hasil Analisa Staging Upper Cross Beam (dalam satuan kN)	257
Tabel 4.44 Hasil Analisa Staging Lower Cross Beam (dalam satuan kN)	257
Tabel 4.45 Hasil Analisa Staging Stroot (dalam satuan kN)	258
Tabel 4. 46 Spesifikasi Teknis Anker VSL SSI 2000 untuk deck	259
Tabel 4.47 Perhitungan Angker Keseluruhan	261
Tabel 4.48 Hasil Analisa Gaya Tarik Dari Aaktual	264
Tabel 4.49 Spesifikasi angker VSL SSI 2000	265
Tabel 4.50 Kontrol tegangan beton saat stressing pada kabel di pylon	266
Tabel 4.51 Kebutuhan Tulangan Daerah Pengangkuran	268
Tabel 4.52 Kapasitas unidirectional Pot Bearing Dengan Tipe PU 1120/800/H2 EN	271

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

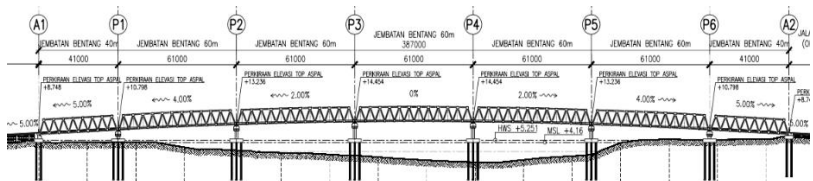
Sarana transportasi merupakan salah satu kebutuhan yang penting dalam kehidupan masyarakat. Hal ini dikarenakan sarana transportasi sangat berpengaruh pada seluruh aspek kehidupan manusia yang meliputi aspek ekonomi, sosial, budaya dan maupun aspek-aspek lainnya yang ada dalam kehidupan masyarakat. Sarana transportasi berfungsi untuk melancarkan hubungan antara tempat dengan tempat yang lainnya. Salah satu prasarana untuk memperlancar kegiatan transportasi adalah jembatan. Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi: Aspek lalu lintas, Aspek teknis, Aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Kondisi saat ini Jembatan Sungai Landak 1 di Pontianak, Kalimantan Barat adalah satu-satunya jembatan yang menghubungkan Kabupaten Pontianak Timur ke Kabupaten Pontianak Utara. Seiring dengan kebutuhan transportasi dari kedua daerah tersebut, Jembatan Sungai Landak 1 tidak dapat menampung volume kendaraan yang melewati Jembatan tersebut. Sehingga diperlukan perencanaan Jembatan Landak II yang akan dibangun *parallel* dengan Jembatan Landak I. (binamarga.pu.go.id, 2016)

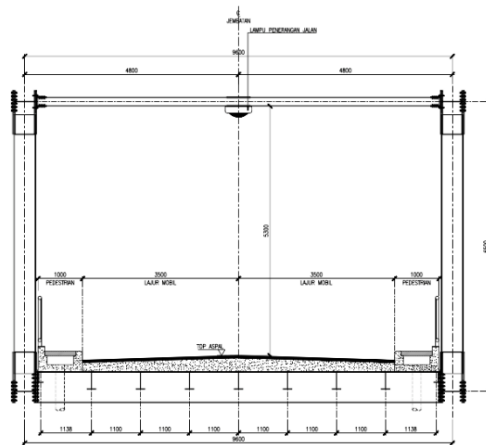


Gambar 1.1 Lokasi Jembatan Landak

Jembatan Landak I dan II direncanakan dengan desain kembar yaitu konstruksi rangka batang. Panjang total jembatan 387 m, jembatan ini dibagi menjadi 6 bagian dengan 5 pilar serta lebar lantai kendaraan 7 m. Dengan bentang 387 m ini Jembatan Landak II diklasifikasikan sebagai jembatan bentang panjang ($L > 150$ m). Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.



Gambar 1.2 Potongan Melintang Rencana Jembatan Landak II



Gambar 1.3 Potongan Melintang Rencana Jembatan Landak II

Dengan desain jembatan menggunakan rangka batang, untuk panjang 387 m ini dibutuhkan banyak pilar dan menimbulkan kesan kurang memiliki nilai estetika dan juga kurang efektif. Selain itu, penggunaan banyak pilar mengakibatkan berkurangnya *effective linear waterway* pada sungai. *Effective linear waterway* adalah lebar total jalur air jembatan dikurangi lebar obstruksi efektif. Dengan berkurangnya *effective linear waterway* akan menyulitkan jika ada kapal yang akan melintas di bawah jembatan.

Maka dari itu penulis memiliki ide untuk melakukan modifikasi desain Jembatan Landak I dan II yang tidak terlalu mengurangi *effective linear waterway*, memperlebar lantai kendaraan dan mempunyai nilai estetika yang tinggi. Desain yang tepat memiliki nilai estetika yang tinggi adalah dengan desain jembatan bentang panjang, menggunakan sistem *cable stayed*.

Jembatan *cable stayed* adalah suatu jenis jembatan sistem *cable supported*, yaitu sistem yang memanfaatkan kabel sebagai batang tarik. Kabel digantung miring di antara tumpuan di tower dan di gelagar jembatan. Dengan kata lain, gelagar ditumpu langsung oleh menara, melalui kabel utama. Untuk jembatan

bentang menengah dan panjang sistem ini akan menghasilkan kekakuan yang besar sehingga lendutan dapat lebih kecil dan pada akhirnya akan memiliki dimensi yang lebih kecil. (Masrilayanti, 2015)

Dalam tugas akhir ini, Jembatan Landak I dan II akan direncanakan menjadi 1 jembatan *cable stayed*. Manfaat dari desain ini adalah dapat meminimalkan kebutuhan pilar sehingga *effective linear waterway* semakin besar karena jembatan *cable stayed* menggunakan *pylon* sebagai pengganti *pier*. Selain itu, adanya nilai estetika yang didapat dari komposisi desain lantai kendaraan, susunan kabel, dan desain *pylon* yang akan dapat menjadikan jembatan ini sebagai salah satu ikon dari Kota Pontianak.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, dalam perencanaan struktur Jembatan Landak permasalahan yang ditinjau adalah

1. Bagaimana perubahan dari denah dan tampak jembatan setelah modifikasi?
2. Bagaimana merencanakan *preliminary design* jembatan *cable stayed*?
3. Bagaimana merencanakan struktur sekunder pada jembatan ini?
4. Bagaimana merencanakan gelagar, kabel, dan *pylon*?
5. Bagaimana permodelan dan analisa struktur dalam perencanaan jembatan ini?
6. Bagaimana hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini?
7. Bagaimana gambar hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini?

1.3. Maksud dan Tujuan

Tujuan utama pada tugas akhir ini adalah mampu merencanakan suatu konstruksi jembatan dengan sistem *cable stayed*, adapun tujuan detailnya adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan perubahan dari denah dan tampak jembatan

setelah modifikasi.

2. Merencanakan preliminary design jembatan *cable stayed*.
3. Merencanakan struktur sekunder jembatan.
4. Merencanakan gelagar, kabel dan *pylon*.
5. Memodelkan dan menganalisa struktur dalam perencanaan jembatan ini.
6. Mengetahui hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini.
7. Menggambar hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini yang akan dianalisa hanya mencakup perencanaan struktur atas jembatan *cable stayed* serta tanpa membahas antara lain:

1. Tidak menghitung bangunan bawah
2. Tidak merencanakan Jalan Pendekat Jembatan
3. Perkerasan jalan di Jembatan
4. Anggaran Biaya

1.5. Manfaat

Penyusunan tugas akhir ini memberikan beberapa manfaat antara lain:

- Umum
 1. Sebagai referensi dalam melakukan desain jembatan dengan menggunakan sistem *cable stayed*.
 2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait.
- Bagi Penulis
 1. Dapat menerapkan ilmu perencanaan jembatan, terutama untuk bentang panjang.
 2. Sebagai evaluasi penguasaan ilmu keteknik sipil terkait desain jembatan selama kuliah.
 3. Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jembatan *Cable stayed*

Jembatan *cable stayed* adalah suatu jenis jembatan sistem *cable supported*, yaitu sistem yang memanfaatkan kabel sebagai batang tarik. Kabel digantung miring di antara tumpuan di tower dan di gelagar jembatan. Dengan kata lain, gelagar ditumpu langsung oleh menara, melalui kabel utama. Untuk jembatan bentang menengah dan panjang sistem ini akan menghasilkan kekakuan yang besar sehingga lendutan dapat lebih kecil dan pada akhirnya akan memiliki dimensi yang lebih kecil. (Masrilayanti, 2015).

Jembatan dengan konfigurasi *cable-stayed* dimana sistem *deck* jembatan didukung oleh kabel yang dihubungkan langsung ke tower umumnya di pakai untuk jembatan dengan bentangan "sedang" sampai dengan 450 meter. Jembatan terpanjang yang menggunakan konfigurasi *cable-stayed* adalah Jembatan Tatara di Jepang dengan bentang utama 890 meter. (Mustazir dkk, 2002).

Keuntungan utama dari *Cable Stayed Bridge* dibandingkan dengan jenis jembatan konvensional lainnya, yaitu:

- Kabel hanya menggunakan satu dukungan saja.
- Baik seimbang dalam hal merawat tension dan kompresi.
- Kabel dapat dibuat terpisah.
- Beban horisontal terkandung di dalam struktur.
- Ideal untuk digunakan saat tepi sungai rapuh seperti bank dengan lumpur alluvial.
- Kabel membubarkan muatan ke area yang lebih mudah. Kabel dari simpul di menara ke jalan adalah varian segitiga.
- Kekakuan melekat yang lebih besar dari jembatan kabel yang dijembatani triangulasi. (Partha, 2013)

2.2. Kabel

Konfigurasi kabel merupakan bagian yang penting dalam desain jembatan dengan sistem kabel karena hal ini akan mempengaruhi tidak hanya pada kinerja struktural jembatan tetapi juga menyangkut metoda/kemudahan *erection* dan biaya pembangunan. (Mustazir dkk, 2002)

Biasanya kabel yang digunakan berupa kabel prategang yang ditempatkan pada lantai jembatan. Kabel prategang dipilih guna mengurangi penyimpangan vertikal dari lantai jembatan dan penyimpangan lateral dari tiang.

2.2.1. Sistem Kabel

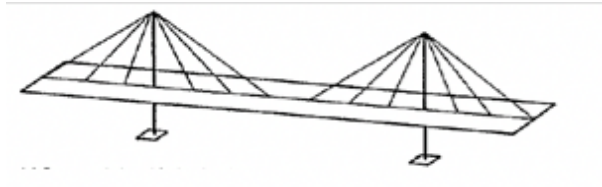
Secara umum sistem kabel dapat dilihat sebagai tatanan kabel transversal dan tatanan kabel longitudinal. Pemilihan tatanan kabel tersebut didasarkan atas berbagai hal karena akan memberikan pengaruh yang berlainan terhadap perilaku struktur terutama pada bentuk menara dan tampang gelagar, selain itu akan berpengaruh pula pada metode pelaksanaan, biaya, dan arsitektur jembatan. (Supriyadi dan Muntohar, 2007)

2.2.1.1. Kabel Transversal

Pada Simon (2015) menurut (Gimsing, 1997), untuk pengaturan melintang klasifikasi dibuat sesuai dengan posisi kabel di bidang yang berbeda. Dua klasifikasi dasar mengikuti:

1) Sistem *Single-Plane*

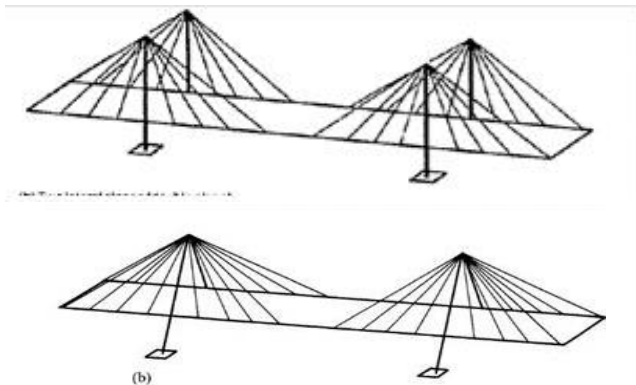
Sistem ini terdiri dari tata letak kabel tunggal di sepanjang sumbu longitudinal suprastruktur. Tata letak seperti ini diatur oleh torsional behavior. Kekuatan diciptakan dengan pemuatan tak simetris di gelagar. Girder utama harus memiliki kekakuan torsi yang cukup untuk menahan gaya torsi. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Susunan Arah Melintang Single Plane System
(Dikutip dari : R. Walther, 1999)

2) Sistem Dua Pesawat:

Jika menara berbentuk H-Tower, tata letaknya adalah sistem vertikal dua pesawat. Jika hanya satu menara yang disediakan di tengah suprastruktur, maka tata letaknya adalah sistem dua pesawat, condong. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Susunan Arah Melintang Two Vertical Planes System
dan Two Inclined Planes System
(Dikutip dari : R. Walther, 1999)

2.2.1.2. Kabel Longitudinal

Pada jembatan *cable-stayed* dikenal ada 4 tipe konfigurasi

kabel yaitu *harp pattern*, *fan Pattern*, *semi-harp pattern* dan *Asymmetric*. (Mustazir dkk, 2002).

a. Tipe *Harp Pattern*

Terdiri atas kabel-kabel penggantung yang dipasang sejajar dan disambungkan ke menara dengan ketinggian yang berbeda-beda satu terhadap yang lainnya. Susunan kabel yang sejajar memberikan efek estetika yang sangat indah namun terjadi lentur yang besar pada menara.

b. Tipe *Fan Pattern*

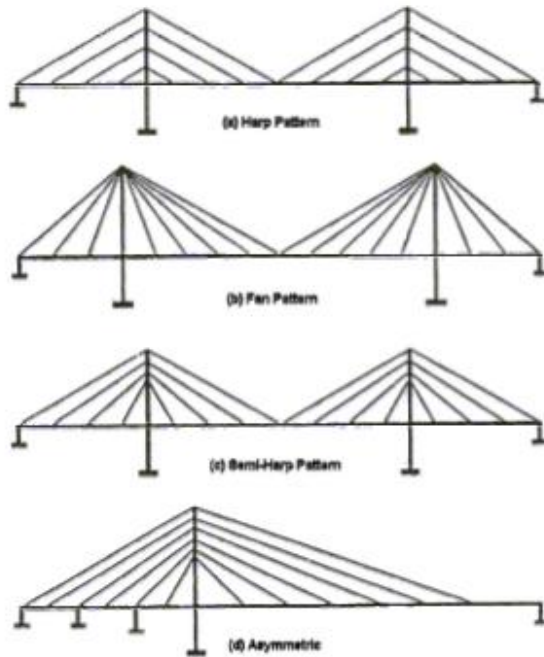
Merupakan solusi tengah antara tipe radiating dengan tipe *harp*. Kabel disebar pada bagian atas menara dan padadek sepanjang bentang, menghasilkan kabel tidak sejajar. Penyebaran kabel pada menara akan memudahkan pendetailan tulangan.

c. Tipe *Semi-harp Pattern*

Semi harp pattern adalah kombinasi dari tipe *harp* dan *fan* yang mengasilkan tipe *semi harp* dimana kabel diletakkan secara menyebar pada bagian atas *pylon*. Pada sistem ini sudut yang dibentuk oleh kabel dan *pylon* lebih kecil dibandingkan pada tipe *harp* sehingga mengurangi kekakuan dari penghubung horizontal antara *pylon* dan pelat lantai.

d. Tipe *Assymetrical Pattern*

Tipe *asymmetric* adalah tipe kabel yang biasanya digunakan jika jembatan terpaksa dibangun dengan satu *pylon* dengan panjang bentang yang berbeda antara kanan dan kiri.



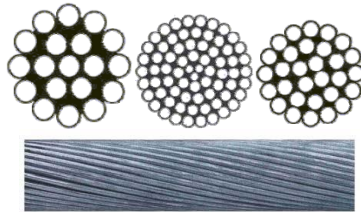
Gambar 2.3 Susunan Kabel Arah Longitudinal
(Dikutip dari : Mustazir dkk, 2002)

2.2.2. Jenis Kabel

Kabel baja (*steel cable*) merupakan elemen dasar bagi kabel modern yang berfungsi sebagai pendukung jembatan yang biasanya lebih kuat dibanding baja struktur biasa. Kawat baja galvanis berdiameter ± 5 mm biasanya digunakan sebagai komponen pembentuk kabel utama jembatan gantung dan sedangkan kawat baja yang disusun dalam bentuk *7-Wire strand* yang berdiameter 12,7 mm dan 15,3 mm umumnya digunakan pada jembatan *cable-stayed* (Mustazir dkk, 2002). Macam-macam tipe kabel antara lain:

a. *Spiral strand*

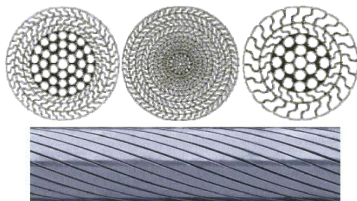
Spiral strand terdiri dari kawat-kawat bulat digalvanis berdiameter besar yang dipuntir bersama-sama. Kawat-kawat tersebut diuntai dalam satu atau lebih layer, umumnya dengan arah yang berlawanan, untuk mencapai diameter yang diperlukan. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kabel Tipe *Spiral strand*
(Dikutip dari : Mustazir dkk, 2002)

b. *Locked Coil Strand*

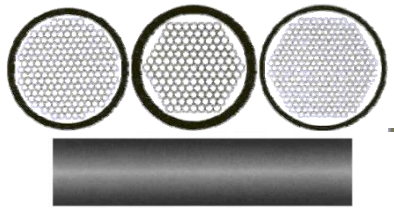
Locked Coil Strand terdiri dari sebuah pusat dari satu atau lebih layer kawat-kawat bulat digalvanis berdiameter besar yang dipuntir bersama-sama. Kawat-kawat tersebut diuntai oleh kawat-kawat persegi digalvanis berdiameter besar yang terdiri dari satu atau lebih layer, umumnya dengan arah yang berlawanan, untuk mencapai diameter yang diperlukan. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kabel Tipe *Loced Coil Strand*
(Dikutip dari : Mustazir dkk, 2002)

c. *Parallel Wire strand*

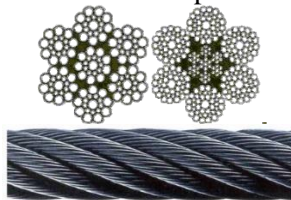
Parallel Wire strand terdiri dari kawat bulat digalvanis berdiameter 5 mm sampai 7 mm berbentuk hexagonal, dengan suatu helix panjang. Kawat tersebut kemudian biasanya dibungkus oleh *High Density polyethylene* (HDPE) tube. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kabel Tipe *Parallel Wire strand*
(Dikutip dari : Mustazir dkk, 2002)

d. *Structural Rope*

Structure Rope biasanya terdiri dari 6 buah *strand* (untaian kawat) yang dipuntir mengelilingi steel core. Diameter kawat digalvanis biasanya kecil sehingga memberikan kelenturan yang tinggi. Biasanya modulus elastisitas kurang dari setengah modulus elastisitas baja struktural. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.7.



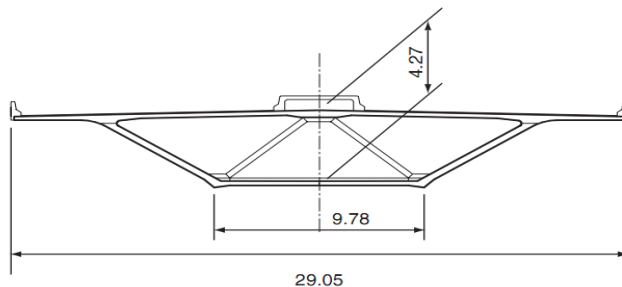
Gambar 2.7 Kabel Tipe *Structural Rope*
(Dikutip dari : Mustazir dkk, 2002)

2.3. Lantai Kendaraan

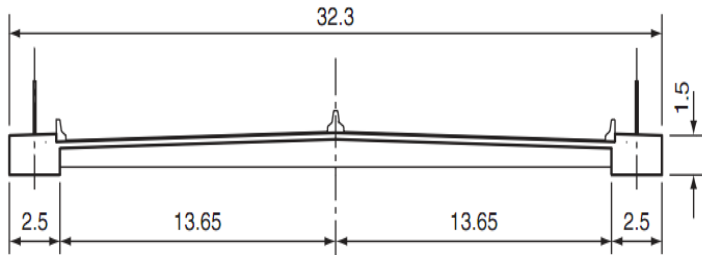
Tujuan dari adanya *deck* struktural adalah untuk membawa momen lentur longitudinal dan melintang, membawa kekakuan pada jembatan dan mendistribusikan beban ke kabel. Sifat dek yang diperlukan bergantung pada tata letak longitudinal dan melintang kabel tetap. Sebuah jembatan dengan hanya satu kabel tengah memanggil sebuah dek dengan kekakuan torsi tinggi. Kekakuan torsional tidak begitu penting jika ada dua atau lebih kabel dataran. (Juvani, 2012). Dari jenis bahan Juvani mengatakan bahwa terdapat 3 jenis bahan yaitu:

a. Lantai jembatan terbuat dari beton

Lantai jembatan jenis ini dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place*, dikarenakan berat sendiri yang cukup besar lantai jenis ini cocok untuk bentang menengah dan panjang, lantai ini dapat berupa beton bertulang maupun beton prategang. Biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan lantai jembatan jenis ini tergolong murah, namun berat sendiri pada lantai jembatan mengakibatkan adanya tambahan beban mati pada jembatan. Hal ini menjadikan perlu untuk memperbesar dimensi dari kabel, tiang, dan pengankeran pada struktur jembatan (Juvani, 2012). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 berikut:



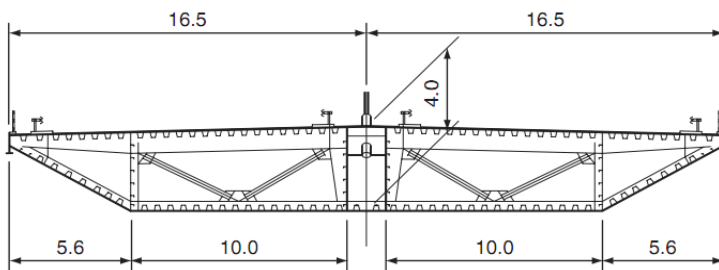
Gambar 2.8 Dek Kotak Puntir Beton, Jembatan Sunshine
(Dikutip dari : Parke & Hudson, 2008)



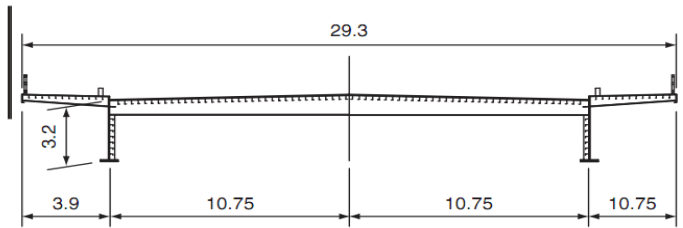
Gambar 2.9 Dek dengan sistem Balok Beton Kembar, Jembatan Dames Point, USA (Dimensi dalam meter)
(Dikutip dari : Parke & Hudson, 2008)

b. Lantai jembatan terbuat dari baja

Keunggulan dari lantai jembatan jenis ini adalah berat sendiri lantai yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan yang terbuat dari beton. Hal ini memungkinkan untuk mendesain lantai jembatan lebih lebar untuk digunakan pada jembatan *cable-stayed* bentang panjang (Juvani, 2012). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 berikut:



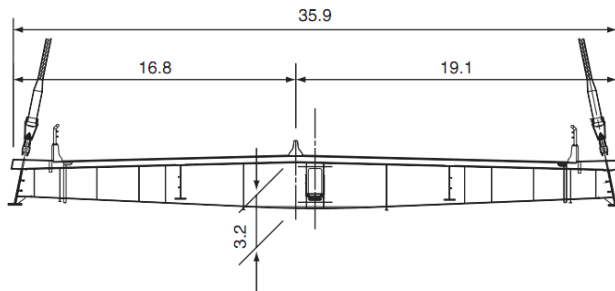
Gambar 2.10 Dek kotak dari Baja dengan sistem Multi-Cell Torsi, Jembatan Rama IX, Bangkok (Dimensi dalam meter)
(Dikutip dari : Parke & Hudson, 2008)



Gambar 2.11 Dek Baja dengan Sistem Balok Kembar, Jembatan Knie, Jerman (Dimensi dalam meter)
(Dikutip dari : Parke & Hudson, 2008)

c. Lantai jembatan terbuat dari komposit

Lantai komposit merupakan struktur yang terdiri dari balok baja dan plat beton yang dikombinasikan. Pelat beton dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place* diatas elemen baja (balok baja). Berat sendiri dari lantai jembatan jenis ini lebih ringan jika dibandingkan dengan lantai jembatan yang terbuat dari beton. Elemen beton mempunyai pengaruh besar terhadap penambahan gaya normal pada lantai jembatan (Juvani, 2012). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.12 berikut:



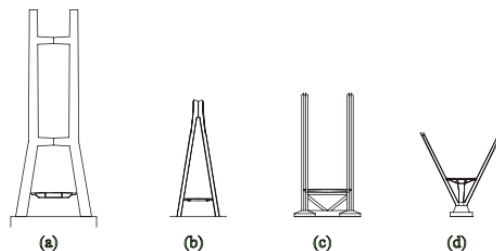
Gambar 2.12 Dek Komposit dengan Balok Kembar, Jembatan Industrial Ring Road, Bangkok (Dimensi dalam meter)
(Dikutip dari : Parke & Hudson, 2008)

2.4. *Pylon*

Menara ini merupakan ciri estetika penting lain dari jembatan kabel yang terjaga. Ini melengkapi sistem kabel dan keduanya saling tergantung. Sebenarnya, sangat sulit untuk mempertimbangkan kedua elemen tersebut sebagai entitas yang terpisah baik dari segi struktural maupun dari segi estetika. Sebagai tiang di kabel tinggal jembatan yang tinggi dan banyak kekuatan ketegangan diterapkan pada mereka pada titik yang berbeda, masalah struktural tidak berarti sederhana namun kemungkinan untuk ekspresifitas asthetical masih tinggi.

Masalah struktural dan fungsional telah membuat para insinyur merancang berbagai pengaturan alternatif: menara berbentuk H untuk jembatan dengan dua pesawat kabel (Gambar 2.13 a), A (Gambar 2.13 b), menara Y dan berlian berbentuk terbalik baik untuk *single* maupun *double*. bidang kabel dan tiang vertikal untuk setiap jenis jembatan (Gambar 2.13 c). Dari sudut pandang struktural murni, bentuk Y terbalik tampaknya menjadi yang paling efektif karena telah digunakan di sebagian besar jembatan kabel utama yang baru dibangun (IABSE Confrence, 1999).

Untuk tinggi *pylon*, *pylon* yang optimum berkisar di perbandingan $L/4$ sampai dengan $L/5$, perbandingan ini cocok untuk susunan kabel tipe *harp* dan lebih ekonomis (Vijay, 2015).



Gambar 2.13 Design Tower : a) Barrios de Luna Bridge (1983);
b) Sama de Langreo bridge (1986); c) Papaloapan Bridge
(1995); d) Bocairente

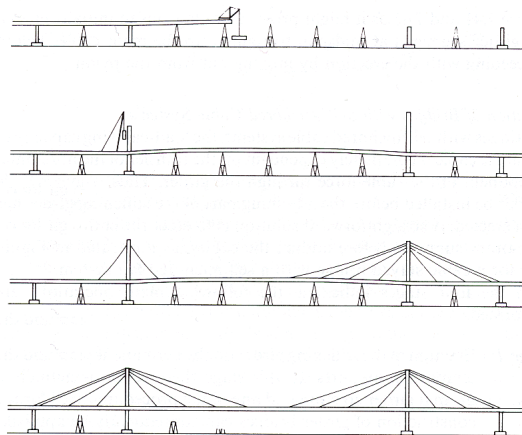
(Dikutip dari : IABSE Confrence, 1999)

2.5. Metode Erection

Metode *erection* yang diterapkan dalam pembangunan jembatan kabel tetap jelas tergantung pada ukuran struktur, sistem struktur dan kondisi yang ditemukan di lokasi yang dimaksud. Secara umum, ada empat metode konstruksi yang berbeda (Marko, 2004):

2.5.1. Constrution on Temporary Supports

Pada metode ini dilakukan dengan cara memasang seluruh girder pada penopang sementara sebelum menambahkan kabel. Pada Gambar 2.14 mengilustrasikan tentang pengoperasi metode berikut:



Gambar 2.14 Erection on Temporary Support
(Dikutip dari: Marko Justus G., 2004)

Stage 1: *Erection* gelagar pengaku pada penopang permanen dan sementara. Segala maca prosedur dapat digunakan pada tahap ini.

Stage 2: *Erection* tiang dari dek gelagar selesai.

Stage 3: Pemasangan kabel tetap. Pada tahap ini kabel hanya perlu ditegangkan secukupnya pengetatan akhir berlangsung pada tahap berikut.

Stage 4: Setelah pemasangan semua kabel, dukungan sementara bisa dilepas. Selama proses ini, beban dipindahkan ke sistem kabel. Karena girder membungkuk ke bawah, perlu dipasang gelagar pada posisi tinggi untuk mencapai posisi akhir yang diinginkan.

Prosedur *erection* ini menawarkan keuntungan bahwa gelagar dapat dipasang terus menerus dari satu ujung ke ujung lainnya. Prosedur ini mengarah pada kontrol geometri dan ketegangan kabel yang efisien.

Kerugiannya terkait dengan dukungan sementara yang diterapkan. Dalam banyak kasus, pemasangan dukungan sementara, - seringkali di atas kedalaman air yang besar pada rentang utama -, tidak ekonomis sehingga prosedur itu sendiri tidak memungkinkan dilakukan.

2.5.2. *Construction by Rotation*

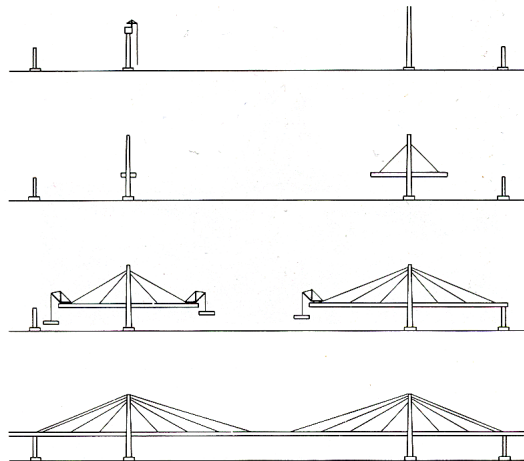
Jika pembangunan dukungan sementara, misalnya di sungai, tidak diinginkan dari sudut pandang keuangan atau karena alasan lain, adalah mungkin untuk membangun satu atau dua kantil tetap kabel di pantai yang sejajar dengan bank dan untuk memutar di sekelilingnya. tiang. Dalam kasus ini, kondisinya sama dengan pemasangan pada penopang sementara seperti yang dijelaskan di bab sebelumnya, dengan penutupan akhir setelah putaran. Kabel dikencangkan dalam satu operasi tunggal yang melepaskan kantilever dari penopang sementara. Teknik ini diterapkan untuk beberapa jembatan, seperti jembatan pejalan kaki Illhof dan jembatan kabel berteknologi Ben Ahin.

Desain fondasi dan *pylon* sangat bergantung pada teknik *erection*. Karena proses rotasi, kekuatan outcentered berlebihan

yang menghasilkan momen lentur tinggi di pijakan harus dihindari. Placidi mengusulkan sebuah konstruksi dengan rotasi untuk jembatan Gilly, di mana dek berputar di sekitar salah satu dari dua kaki tiang dan kaki tiang lainnya menyalakan dukungan beton sementara.

2.5.3. *Construction by Cantilever Method*

Pada penopang jembatan tiga jembatan klasik dapat dihindari sepenuhnya jika suprastruktur dipasang dengan metode kantilever bebas. Metode ini diilustrasikan pada Gambar 2.15. Prosedurnya terdiri dari tahapan berikut:



Gambar 2.15 Prosedur Pelaksanaan Cantilever Method
(Dikutip dari : Marko Justus G., 2004)

- Stage 1: Tiang dan unit girder diatas tiang utama dipasang.
- Stage 2: Kantilever bebas seimbang diprakarsa dengan menggunakan derrick crane yang beroperasi di geladak untuk mengangkat segmen balok. Ini diangkut ke situs tongkang.

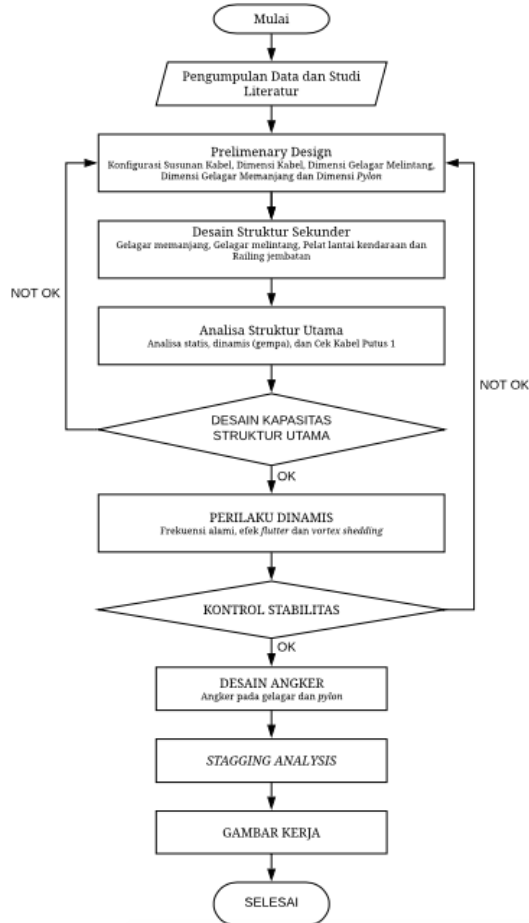
- Stage 3: Saat kantilever tumbuh, kabel tetap terpasang dan dikencangkan ke kekuatan awal mereka untuk membawa beban segmen yang baru dipasang.
- Stage 4: Jembatan ditutup pada midspan dan pemuatan tambahan diterapkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1. Diagram Alir

Metode yang akan digunakan dalam perencanaan tugas akhir ini seperti diagram alir berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan

3.2. Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Studi literatur dan peraturan yang berkaitan dengan perencanaan jembatan *cable-stayed* ini dan Data awal jembatan, Antara lain:

1. Nama dan Lokasi Jembatan : Jembatan Landak I dan II
2. Panjang Bentang : 387 Meter
3. Lebar Jembatan : 7 Meter
4. Material Jembatan : Rangka Baja JIS Grade SM490-YB
5. Tinggi Bebas Jembatan : 9 Meter

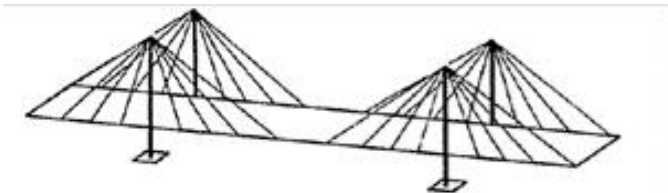
Data modifikasi jembatan sebagai berikut:

1. Nama dan Lokasi Jembatan : Jembatan Landak II
2. Panjang Bentang : 387 Meter
3. Lebar Jembatan : 16.5 Meter
4. Material Jembatan : *Cable-stayed*
5. Tinggi Bebas Jembatan : 9 Meter

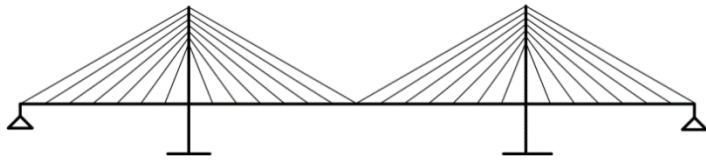
3.3. Preliminary Design

3.3.1. Konfigurasi kabel

Susunan kabel untuk arah melintang berupa *Two Vertical Planes System* dan kabel longitudinal berupa *Semi Harp Pattern*, dengan penggunaan susunan ini lebih menguntungkan karena desain *pylon* dapat lebih pendek dan pemasangan kabel tidak akan serumit *fan pattern*. Lebih jelasnya dapat dilihat seperti Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.2 Susunan Kabel *Two Vertical Planes System*

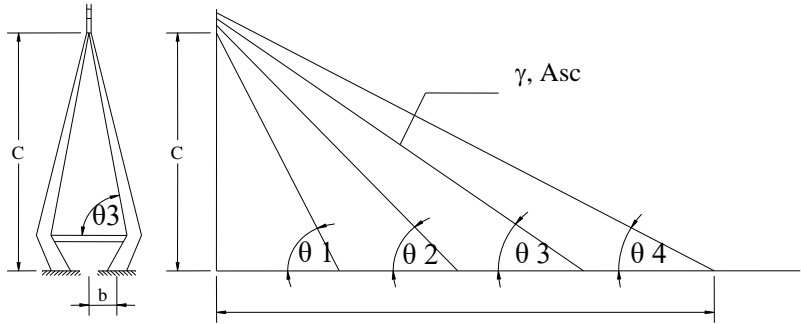


Gambar 3.3 Susunan Kabel Semi Harp Pattern

Jarak kabel gelagar:

- Jika berupa gelagar baja maka jaraknya (1.5 m s.d 25 m) (Walther dkk, 1999).
- Jika berupa gelagar beton maka jaraknya (5 m s.d 10 m) (Walther dkk, 1999).

3.3.2. Kabel



Gambar 3.4 Analisa Luas Penampang Kabel

Kabel menggunakan Bundel 7-Wire strand. Sebagai perkiraan awal, luas penampang kabel didekati dengan persamaan sebagai berikut (Gimsing 1983):

$$Tu = \frac{1.1 \left[\gamma \cdot A_{sc} \frac{l}{\cos \theta} \right]}{\sin \theta} + \frac{W\lambda + p}{\sin \theta} \quad (3.1)$$

1.1 adalah faktor beban baja

$$Tn = A_{sc} (0.7 f_{pu}) \quad (3.2)$$

$$A_{sc} (0.7 f_{pu}) = \frac{1.1 \left[\gamma \cdot A_{sc} \frac{l}{\cos \theta} \right]}{\sin \theta} + \frac{W\lambda + P}{\sin \theta} \quad (3.3)$$

$$A_{sc} (0.7 f_{pu}) \frac{\sin \theta}{\sin \theta} - \frac{1.1 \left[\gamma \cdot A_{sc} \frac{l}{\cos \theta} \right]}{\sin \theta} = \frac{W\lambda + P}{\sin \theta} \quad (3.4)$$

$$A_{sc} \left[(0.7 f_{pu}) \sin \theta - 1.1 \left(\gamma \frac{l}{\cos \theta} \right) \right] = W\lambda + P \quad (3.5)$$

$$A_{sc} = \frac{W\lambda + P}{(0.7 f_{pu}) \sin \theta - 1.1 \gamma \cdot \frac{l}{\cos \theta}} \quad (3.6)$$

$$A_{sc} = \frac{(W\lambda + P) \cos \theta}{(0.7 f_{pu}) \sin \frac{2\theta}{2} - 1.1 \gamma \cdot l} \quad (3.7)$$

Dimana:

A_{sc} = Luas penampang kabel

W = Beban mati dan hidup merata

P = Beban terpusat

λ = Jarak antara anker kabel pada girder

θ = Sudut kabel terhadap horisintal

γ = Berat jenis kabel

f_{pu} = Tegangan putus kabel

l = jarak dari *pylon* ke anker kabel pada girder

$$= \sqrt{a^2 + b^2}$$

Menurut Gimsing (1983), untuk jumlah kabel dapat didekati dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{A_{sc}}{A_s} \quad (3.8)$$

Dimana:

A_s = Luas penampang kabel

Analisa jembatan *cable stayed* didasarkan pada analisa elastisitas baja. Asumsi awal yang digunakan adalah ketika menerima beban mati kabel tetap akan terlihat melengkung, oleh karena lengkungan akibat beban mati modulus elastis efektif (E_{eff}) mempunyai nilai yang lebih kecil dari modulus elastis kabel baja (E_0). Jika kabel disimulasikan sebagai elemen sebenarnya dalam komputer maka akan didapat nilai (E_{eff}) < (E_0), hal ini seharusnya digunakan terutama untuk kondisi kabel dengan bentang yang sangat panjang. Nilai (E_{eff}) selain dipengaruhi oleh panjang dan gaya juga oleh berat sendiri kabel. Modulus elastis efektif dapat direncanakan dengan formula berikut (Walther dkk, 1999).

$$E_{eff} = E_0 \frac{1}{1 + \frac{\gamma^2 L_h^2 E_0}{12 \sigma^3}} \quad (3.9)$$

Dimana:

- E_{eff} = Efektif modulus elastis (N/mm²)
- E_0 = Modulus elastis dari material kabel tetap (N/mm²)
- γ = Berat jenis dari material kabel (N/mm³)
- L_h = Panjang kabel yang direncanakan (jarak titik gantung kabel) (mm)
- σ = Tegangan tarik dalam kabel (N/mm²)

3.3.3. Dimensi Gelagar dan Dimensi Struktur Pylon

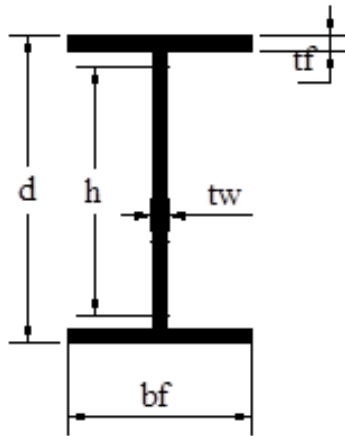
Menurut Podolny (1976), nilai perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara (1/40) sampai dengan (1/100).

Perkiraan awal dimensi gelagar memanjang menggunakan *twin box girder* dengan pengaku berupa profil WF dan gelagar melintang menggunakan profil WF.

a. Dimensi gelagar melintang dan kantilever:

- Tinggi penampang gelagar melintang (d) $\geq L/9$ (3.10)

- Tinggi penampang kantilever (d) $\geq L/6$ (3.11)



Gambar 3.5 Profil WF

b. Dimensi gelelagar memanjang (*box*):

- Tinggi penampang gelagar *ribs* (d) $\geq \frac{L}{12}$ (3.12)

- Tinggi penampang gelagar *box* (h):

$$\frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \quad (3.13)$$

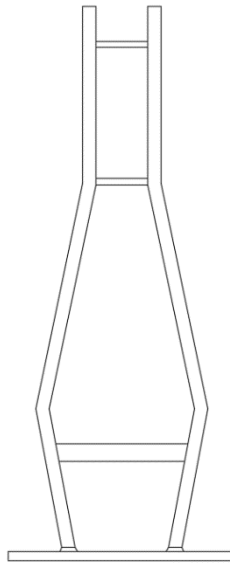


Gambar 3.6 Penampang Twin Box Girder

3.3.4. Dimensi Struktur *Pylon*

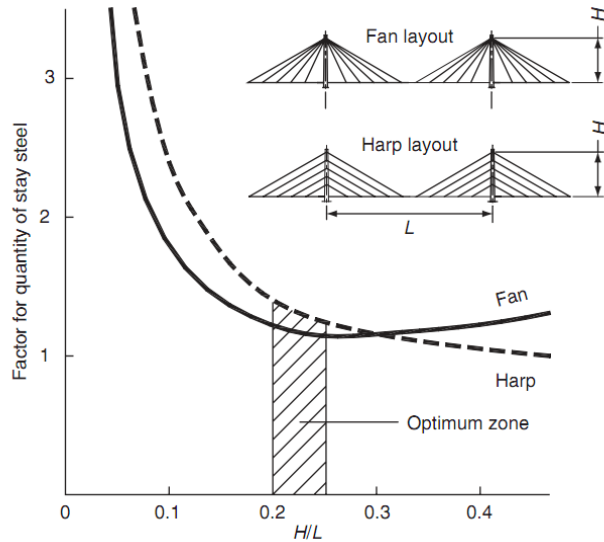
Pada perencanaan ini akan direncanakan *pylon* sebagai berikut:

1. Material : Beton bertulang
2. f'_c : 50 MPa
3. f_y : 400 MPa
4. Bentuk *pylon* : *Pylon Twin Tower* dengan posisi kabel *two vertical planes system*



Gambar 3.7 Penampang Pylon Twin Tower

- Tinggi *pylon* (h)
Perencanaan untuk tinggi *pylon* dapat dilakukan dengan membandingkan tinggi rencana (H) dengan panjang *deck* (L) dengan range nilai 0.2 – 0.5 (Parke and hudson, 2008).



Gambar 3.8 Tinggi Optimum Pylon

- Dimensi struktur *pylon* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{perlu}} = T/f_c' \quad (3.14)$$

Dimana:

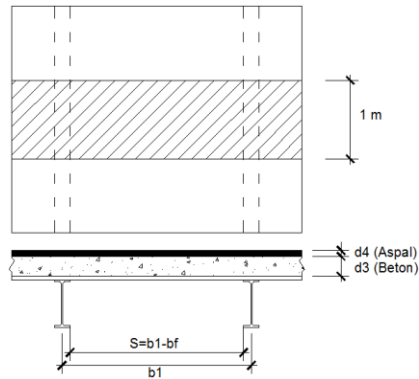
A_{perlu} = Luas penampang *pylon*

T = Gaya aksial total pada *pylon*

3.4. Perencanaan Struktur Sekunder

3.4.1. Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan berupa beton komposit antara beton bertulang dengan *compo deck*.

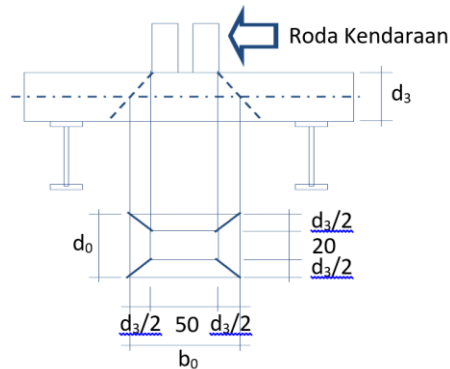


Gambar 3.9 Model Gambar Perhitungan

Perhitungan Momen:

$$\text{Beban Truk} = 0.8 \times (S+0.6)Tu/10 \quad (3.15)$$

$$\text{Merata} = (1/10) \times q \times (b_1)^2 \quad (3.16)$$



Gambar 3.10 Model Gambar Perhitungan Kontrol Geser

Kontrol Geser Pons:

$$\text{Gaya geser (V)} = K_{TT}^u \times 100 \times (1+0.3) \quad (3.17)$$

$$\text{Luas Bidang Kritis (AK)} = 2 \times (b_0+d_0) \times d_3 \quad (3.18)$$

$$\text{Kemampuan Geser (Vu)} = AK \times \text{Teg. Geser} \quad (3.19)$$

$$\text{Beton Kontrol} = V < Vu \quad (3.20)$$

3.4.2. Tiang Sandaran (*Railing*)

Fungsi utama *railing* yaitu untuk memberikan keamanan kepada pengguna jalan. Seluruh sistem pengaman lalu lintas, *railing*, dan *railing* kombinasi secara struktur dan geometrik harus tahan terhadap benturan kendaraan. Beberapa hal yang perlu diperhitungkan antara lain: **SNI 1725:2016. Pasal 11**

- Perlindungan terhadap penumpang kendaraan saat berbenturan dengan *railing*.
- Perlindungan terhadap kendaraan lain yang berada dekat dengan lokasi benturan.
- Perlindungan terhadap manusia dan properti jalan dan area lain dibawah struktur jembatan.
- Kemungkinan peningkatan kinerja *railing*.
- Efektivitas baja.
- Tampak dan kebebasan pandang terhadap kendaraan yang lewat.

Railing jembatan direncanakan menerima beban $w = 0.75$ kN/m' yang bekerja sepanjang sandaran paling atas. Kemudian beban w didistribusikan ke tiap *join*

$$Pw = w \times b \quad (3.21)$$

Dimana:

w = Beban per meter lari

b = Jarak yang dipikul tiap *join*

Kemudian dicari momen dan geser yang terjadi pada tiang *railing* dengan menggunakan persamaan berikut:

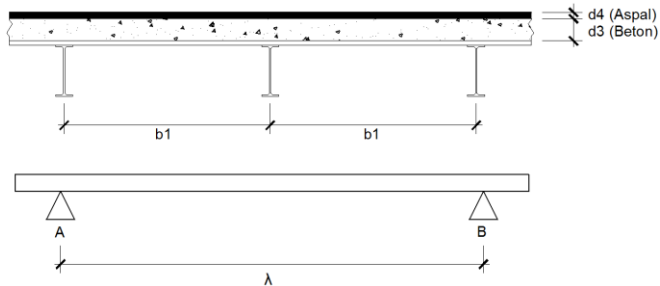
$$Mu = w \times 0,5L \times H \quad (3.22)$$

$$Vu = w \times 0.5L \quad (3.23)$$

Koneksi ke landasan diberi *baseplate* yang diangker ke beton trotoar. Analisa profil *railing* menggunakan program bantu SAP2000.

3.4.3. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang berfungsi menyalurkan beban kendaraan pada pelat beton ke gelagar melintang. Pembebanan pada gelagar mengacu pada SNI 1725-2016.



Gambar 3.11 Model Gambar Perhitungan Beban Mati Gelagar

A dan B adalah tumpuan yang diasumsikan *simple connection* ke balok melintang.

Momen akibat beban mati:

$$M_D = 1/8 \times q_{MU} \times \lambda^2 \quad (3.24)$$



Gambar 3.12 Model Gambar Perhitungan Beban Lalu Lintas Gelagar

Beban Hidup:

$$q_{UDL} = 9 \text{ kPa} \times b_1 \times LF \text{ (untuk } L < 30 \text{ m)} \quad (3.25)$$

$$= 9 (0.5 + 15/L) \times b_1 \times LF \text{ (untuk } L > 30 \text{ m)}$$

$$q_{KEL} = 49 \text{ kN/m} \times b_1 \times LF \times (1 + DLA) \quad (3.26)$$

Momen akibat beban hidup:

$$M_{L1} = 1/4 q_{KEL} \times \lambda + 1/8 q_{UDL} \times \lambda^2 \quad (3.27)$$

Beban Hidup Truk Terpusat “T” (112,5 KN)

$$Tu = 112.5 \times 1.8 \times (1 + DLA) \quad (3.28)$$

Momen akibat Tu:

$$M_{L2} = 1/4 \times Tu \times \lambda \quad (3.29)$$

Momen Total diambil yang terbesar:

$$M_T = M_D + M_{L1} \quad (3.30)$$

$$= M_D + M_{L2} \quad (3.31)$$

3.4.4. Gelagar Melintang

Gelagar melintang berfungsi menyalurkan beban-beban lantai kendaraan dan beban gelagar memanjang ke gelagar utama (*twin box girder*). Pembebanan pada gelagar mengacu pada SNI 1725-2016.

- Kontrol Kapasitas Lentur:

- 1) Kontrol Tekuk Lokal

Sayap ... (RSNI T-03-2005 ps. 7.4.2.2)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (3.32)$$

Badan ... (RSNI -03-2005 ps. 7.7.1)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d-2(t_f)}{t_w} \quad (3.33)$$

Jika $\lambda < \lambda_p$, penampang kompak maka kuat lentur nominal penampang

$$M_n = M_p = Z_x \times f_y \quad (3.34)$$

$$M_n = Z_x \cdot F_y \quad (3.35)$$

- 2) Kontrol Tekuk Lateral (RSNI T-03-2005 Tabel 8)

$$L_p = 1,76 i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.36)$$

Jika $L_b < L_p$; maka termasuk bentang pendek,

Jika $L_b < L < L_p$; maka bentang menengah,

Jika $L_p < L$; dan maka bentang panjang

3) Kontrol Kapasitas Momen

$$\phi M_n > M_u \quad (3.37)$$

4) Kontrol Kapasitas Geser

Berdasarkan RSNI T-03-2005 ps.7.8 untuk balok tanpa pengaku vertikal kuat geser dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d-2(t_f)}{t_w} \quad (3.38)$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}}$$

Dimana:

$K_n = 5$ (untuk balok tanpa pengaku vertikal)

Maka kuat geser ϕV_n dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\phi V_n = \phi \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot A_w > V_u \quad (3.39)$$

- Kontrol akibat aksial

$$\phi P_n > P_{u_{\max}} \quad (3.40)$$

- Kontrol akibat kombinasi lentur + aksial

1) Jika $\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,20$ maka digunakan persamaan interaksi berikut:

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left[\frac{M_{ux}}{\phi b.M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b.M_{ny}} \right] \leq 1,00 \quad (3.41)$$

- 2) Jika $\frac{Pu}{\phi P_n} \leq 0,20$ maka digunakan persamaan interaksi berikut

$$\frac{Pu}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{Mux}{\phi b.Mnx} + \frac{Muy}{\phi b.Mny} \right] \leq 1.00 \quad (3.42)$$

- Kontrol Lendutan

Menurut RSNI T-03-2005 ps. 4.7.2 lendutan maksimum gelagar diatas dua tumpuan $L/800$.

3.5. Analisa Struktur Utama

Analisa jembatan *cable stayed* terdiri dari analisa statis dan dinamis (gempa), hal ini dimaksudkan untuk menentukan variasi gaya pada elemen pendukung beban (gelagar, *pylon* dan kabel), sedangkan analisan dinamis digunakan untuk menentukan kestabilan struktur.

3.5.1. Pembebanan Statis

Beban statis terdiri dari:

3.5.1.1. Beban Mati

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi.

a) Berat sendiri

Berat sendiri merupakan berat elemen bahan dari struktur, ditambah dengan elemen bahan non struktural yang dianggap tetap. Menurut **SNI 1725:2016. Pasal 7.1 Tabel 2.** Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan dapat dilihat seperti Gambar 3.1.

No.	Bahan	Bearat/Satuan isi (KN/m ³)	Kerapatan Masa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal	22	2245
2	Besi tuang	71	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1755
4	Kerikil dipadatkan	18.8-22.7	1920-2315
5	Beton aspal	22	2245
6	Beton ringan	12.25-19.6	1250-2000
7	Beton $F'c < 35$ Mpa	22-25	2320
8	Beton $35 < f'c, 105$ Mpa	$22 + 0.022f'c$	$2240 + 2.29f'c$
9	Baja	78.5	7850
10	Kayu	7.8	800
11	Kayu keras	11	1125

Tabel 3.1 Berat Isi Untuk Beban Mati

b) Beban mati tambahan

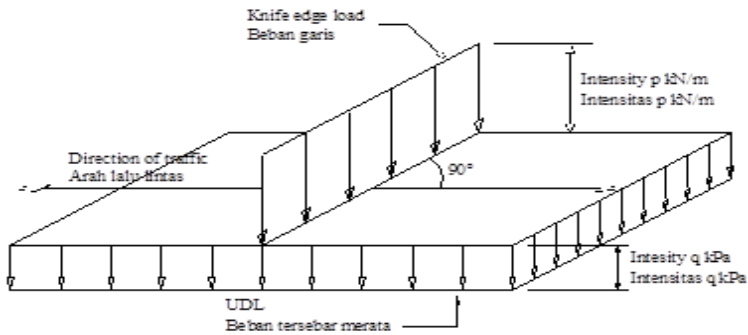
Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada struktur yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah seiring dengan bertambahnya umur struktur.

3.5.1.2. Beban Lalu lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” berkerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang berkerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana.

a) Beban lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Beban Lajur “D”

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dengan besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut:

$$\begin{aligned} L &\leq 30\text{m}: q = 9.0 \text{ kPa} \\ L &\geq 30\text{m}: q = 9.0 (0.5 + 15/L) \text{ kPa} \end{aligned} \quad (3.43)$$

Dimana:

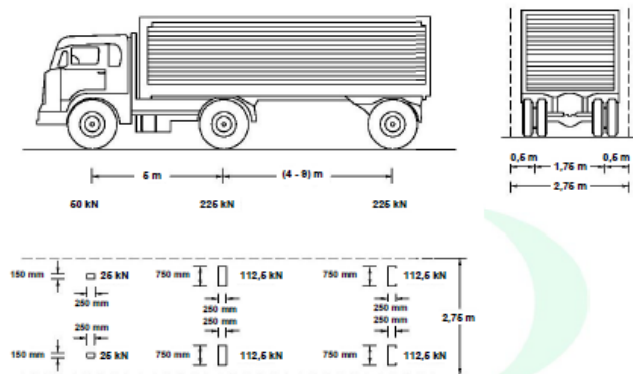
q = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49.0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negative maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identic harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya. Menurut **SNI 1726:2016. Pasal 8.3.1.**

b) Beban truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada Gambar 3.14. Berat sendiri dari masing-masing as disebar menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara dua as tersebut antara 4.0 m sampai dengan 9.0m, hal ini dikarenakan untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana. **SNI 1726:2016. Pasal 8.4.1.**



Gambar 3.14 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

3.5.1.3. Beban Lingkungan

Beban lingkungan dapat terjadi karena pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan penyebab alamiah lainnya.

a) Beban angin

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{dz} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut: **SNI 1725:2016. Pasal 9.6.1**

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.44)$$

Dimana:

V_{dz} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam).

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana (km/jam).

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm.

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)

V_0 = Kecepatan gesekan angin, seperti Tabel 3.2.

Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan seperti Tabel 3.2.

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
- Survey angin pada lokasi jembatan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13.2	17.6	19.3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

Tabel 3.2 Nilai V_0 dan Z_0 Untuk Berbagai Variasi Permukaan Hulu

Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_0 (V_{DZ}/V_B)^2 \quad (3.45)$$

Dimana:

P_B = Tekanan angin dasar seperti yang di tentukan dalam Tabel 3.3 (MPa)

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0.024	0.0012
Balok	0.0024	N/A
Permukaan datar	0.0019	N/A

Tabel 3.3 Tekanan Angin Dasar

3.5.2. Pembebanan Dinamis

Beban dinamis terdiri dari:

3.5.2.1. Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (C_{sm}) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan factor modifikasi respons (R_d) dengan formula sebagai berikut:

$$E_Q = C_{sm}/R_d \times W_t \quad (3.46)$$

Dimana:

E_Q = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = Koefisien respon gempa elastis

R_d = Faktor modifikasi respons

W_t = Berat total struktur yang terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respon elastic (C_{sm}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spectra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu factor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan. Faktor modifikasi respons diperoleh dari table 6 RSNI3 2833:201X, untuk lebih detail dapat dilihat pada table dibawah ini:

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang	1,5	2,0	3,0
Tiang vertikal	1,5	1,5	2,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit	1,5	3,5	5,0
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	3,5	5,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Catatan:

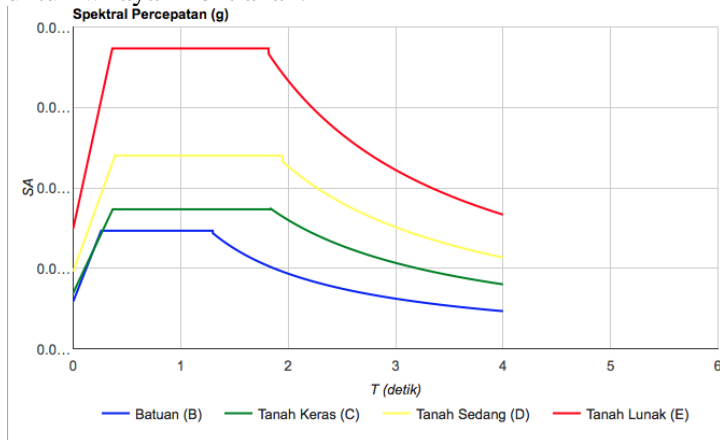
Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

Tabel 3.4 Faktor Modifikasi Respons Untuk Bangunan Bawah

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Tabel 3.5 Faktor Modifikasi Respons (R) Untuk Hubungan Antar Elemen Struktur

Untuk perhitungan dengan program bantu MIDAS/Civil, yang perlu dimasukkan adalah Respon Spectrum Gempa dari wilayah Jembatan tersebut. Berikut adalah grafik respon spectrum untuk wilayah Pontianak:



Gambar 3.15 Grafik Respon Spectrum Kota Pontianak

3.6. Analisa Perilaku Dinamis

3.6.1. Perilaku Aerodinamik

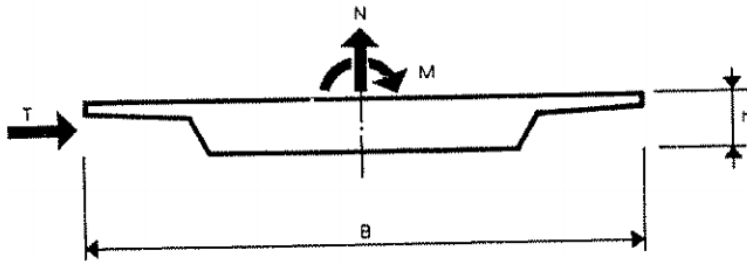
Pada jembatan *cable-stayed*, dimensi pada bentang utama jembatan umumnya sangat besar. Angin menyebabkan lentur dan torsi pada struktur. Akibat adanya angin, lantai kendaraan mengalami tiga jenis gaya statik yaitu:

1. Gaya Horizontal (T)
2. Gaya Vertikal (N)
3. Gaya Torsi (M)

Nilai gaya – gaya tersebut bergantung pada beberapa faktor berikut:

1. Tekanan angin q
2. Bentuk penampang (koefisien C_T , C_N , dan C_M)
3. Sudut datang angin pada lantai kendaraan, α

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada berikut ini:



Gambar 3.16 Efek Angin (Walther, 1999)

$$T = C_T \cdot q \cdot h \cdot l \quad (3.47)$$

$$N = C_N \cdot q \cdot h \cdot l \quad (3.48)$$

$$M = C_M \cdot q \cdot h \cdot l \quad (3.49)$$

Dimana:

- l = Panjang struktur
 h = Tinggi total lantai kendaraan
 B = Lebar lantai kendaraan

3.6.2. Osilasi Gaya Akibat Pusaran Angin (Vortex-Shedding)

Pada kecepatan angin tertentu yang disebut dengan kecepatan kritis, akan terjadi pusaran angin (vortex-shedding). Untuk memperoleh nilai percepatan kritis tersebut, digunakan persamaan angka Strouhal (S).

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 – 7.11}) \quad (3.50)$$

Dimana:

- S = Angka Strouhal
- f_B = Frekwensi alami lentur balok
- h = Tinggi lantai kendaraan
- V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

Selanjutnya dilakukan evaluasi efek pusaran dengan angka *Reynold* (Re). Akibat kecepatan angin yang berkerja besarnya angka *Reynold* harus memenuhi persyaratan, nilai Re harus berkisar antara $10^5 - 10^7$. Berikut persamaan untuk angka *Reynold*.

$$Re = \frac{VB}{\nu} \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 – 7.10}) \quad (3.51)$$

Dimana:

- Re = Angka *Reynold*
- V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal
- B = Lebar lantai kendaraan
- ν = Viskositas kinematik udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{dt}$)

Akibat adanya terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} Ch \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.13)} \quad (3.52)$$

Dimana:

F_o = Gaya angkat

ρ = Berat volume udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)

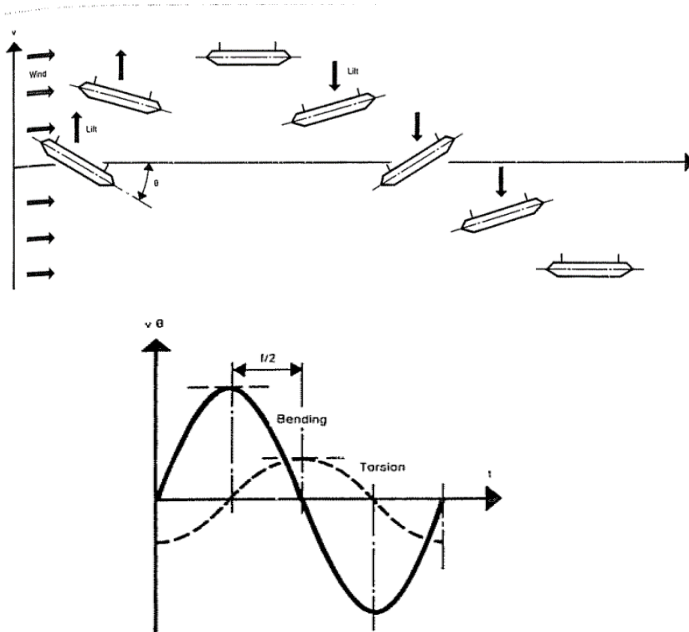
V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan

h = Tinggi lantai kendaraan

3.6.3. Efek Ayunan (*flutter*)

Fenomena efek ayunan yang terjadi pada kecepatan kritis akan menimbulkan ayunan lentur (f_B) dan ayunan torsi (f_T), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Maka dari itu desain yang ideal, nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase sebesar $\pi/2$ atau berkisar 1,57 detik. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada Gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3.17 Efek Ayunan dengan Beda Fase $\pi/2$

3.7. Desain Angker

3.7.1. Desain Angker pada Gelagar

Pada desain ini anker dipasang sesuai dengan jumlah *strand* yang direncanakan dari perhitungan sebelumnya. Dilakukan kontrol tegangan pelat baja pada saat *stressing* (pemberian gaya tarik).

- Tegangan ijin pelat baja pada saat pemberian gaya tarik:

$$f_{yp} = 0.8 f_y \sqrt{\frac{A_p'}{A_p}} - 0.2 \quad (3.53)$$

- Tegangan di bawah pelat anker:

$$f_t = \frac{P}{A_p} \quad (3.54)$$

- Kuat lentur pelat sayap

SNI03-1729-2002, ps.

$$8.10.2 \phi R_b = \phi 6.25 t_f^2 f_y \quad (3.55)$$

- Kuat leleh pelat badan
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.3

$$\phi R_b = \phi \cdot (5k + N) \cdot t_w \cdot f_y \quad (3.56)$$

Dimana:

k = Tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan
 N = Dimensi arah longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k .

- Kuat tekuk dukung pelat badan
SNI 03-1729-2002, ps. 8.10.4 (8.10-4.c)

$$\phi R_b = 0.39 t_w^2 \left[1 + \left\{ 4 \left(\frac{N}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right\} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} \quad (3.57)$$

- Kuat tekuk lentur pelat badan
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.6

$$\phi R_b = \frac{12.08 t_w^2}{h} \sqrt{E f_y} \quad (3.58)$$

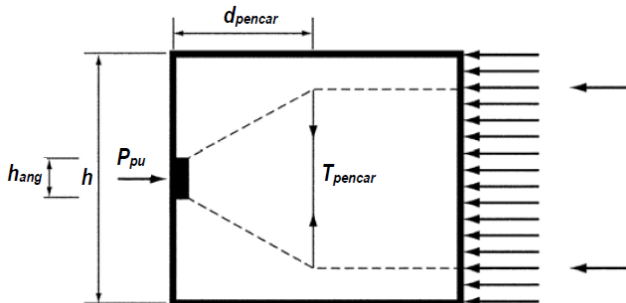
3.7.2. Desain Angker pada Pylon

Angker kabel yang dipasang menyesuaikan jumlah *strand* kabel yang telah dihitung. Analisa ini meliputi cek tegangan pada beton pada saat pemberian gaya tarik (*stressing*).

Pada daerah pengangkuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar lokasi pengangkuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan *stressing*.

Sesuai **SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.2** untuk daerah umum digunakan rumus:

$$T_{pencar} \sim 0,25 P_{pu} \quad (3.59)$$



Gambar 3.18 Daerah Umum Pada Penampang Persegi

3.8. Kontrol Stabilitas

Analisa permodelan stabilitas aerodinamis jembatan *cable-stayed* menggunakan program bantu MIDAS/Civil.

3.9. Staging Analysis

Metode pelaksanaan/*Staging Analysis* konstruksi jembatan *cable stayed* ini didesain dengan *cantilever erection* dan dipengaruhi langsung oleh beban *form traveler*.

Metode analisis struktur dibuat dengan metode *demolishing procedure* melalui *backward solution*. Dimulai dari keadaan final jembatan dilanjutkan dengan melepas bagian per bagian hingga sampai pada keadaan awal pada metode pelaksanaan. Semua tahapan tersebut di-input-kan kedalam program MIDAS/Civil sehingga didapat hasil gaya per tahapan analisa.

3.10. Menyusun Gambar Kerja

Penyusunan gambar kerja menggunakan program bantu AutoCAD. Susunan gambar kerja sebagai berikut:

- Denah jembatan
- Potongan melintang dan memanjang
- Penulangan
- Konfigurasi kabel

- Struktur utama

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. *Preliminary Design*

Dalam melakukan perhitungan suatu struktur jembatan, perlu dilakukan perkiraan dari dimensi – dimensi elemen struktur awal jembatan berdasarkan referensi terkait yang disesuaikan dengan parameter yang telah ada sebelumnya. Tataan sistem kabel, dimensi awal gelagar, kabel dan *pylon* akan digunakan sebagai data awal untuk menganalisa struktur tersebut. Jika dalam analisa selanjutnya ternyata dimensi awal tidak memenuhi syarat kemampuan strukturnya, maka parameter-parameter sebelumnya dapat diubah seperlunya.

4.1.1. Gelagar

4.1.1.1. Gelagar Melintang

Gelagar melintang direncanakan menggunakan *custom plate girder*, dengan:

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{L}{9}$$

dimana panjang balok (L) = 16.5 m

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{11}{9} = 1,9 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan *custom plate girder* 1650.600.10.40

$$d = 1650 \text{ mm} \qquad \text{tw} = 10 \text{ mm}$$

$$bf = 600 \text{ mm} \qquad \text{tf} = 40 \text{ mm}$$

$$w = 645,27 \text{ kg/m}$$

Sifat mekanis baja struktural

$$BJ = 41$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

4.1.1.2. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang direncanakan menggunakan profil WF, dengan:

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{L}{12}$$

dimana panjang balok (L) = 6,75 m (gelagar memanjang terbesar)

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{6,75}{12} = 0.5625 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 600.300.14.23

$$\begin{array}{ll} d = 594 \text{ mm} & tw = 14 \text{ mm} \\ bf = 302 \text{ mm} & tf = 23 \text{ mm} \\ r = 28 \text{ mm} & w = 175 \text{ kg/m} \end{array}$$

Sifat mekanis baja struktural

$$\begin{array}{l} BJ = 41 \\ f_u = 410 \text{ MPa} \\ f_y = 250 \text{ MPa} \end{array}$$

4.1.1.3. Gelagar kantilever

Gelagar kantilever direncanakan menggunakan profil WF, dengan

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{L}{6}$$

dimana panjang balok (L) = 1,5 m

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{1,5}{6} = 0.25 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 300.200.9.14

$$\begin{array}{ll} d = 298 \text{ mm} & tw = 9 \text{ mm} \\ bf = 201 \text{ mm} & tf = 14 \text{ mm} \\ r = 14 \text{ mm} & w = 65,4 \text{ kg/m} \end{array}$$

Sifat mekanis baja struktural

$$\begin{array}{l} BJ = 41 \\ f_u = 410 \text{ MPa} \\ f_y = 250 \text{ MPa} \end{array}$$

4.1.2. Box girder

Gelagar utama direncanakan menggunakan profil *Twin rectangle box girder*. Menurut Podolny (1976) dalam bukunya “*Contruction & Design of Cable-stayed Bridges*”, nilai perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara (1/40) s.d. (1/100).

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi box girder (h)} &= \frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \\
 &= \frac{1}{40} 193,5 \geq h \geq \frac{1}{100} 193,5 \\
 &= 5 \geq h \geq 2
 \end{aligned}$$

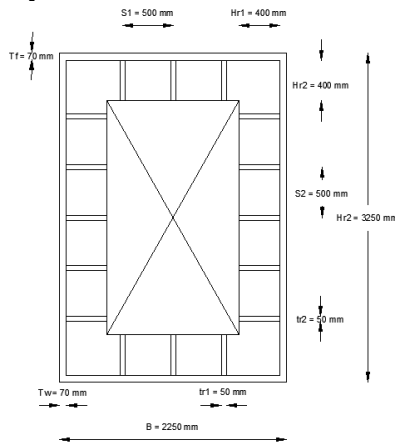
Dalam desain ini, nilai tinggi *box girder* direncanakan dengan perbandingan (L/80).

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{193,5}{80} \\
 &= 3,225 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dipakai perkiraan awal dimensi *box girder*:

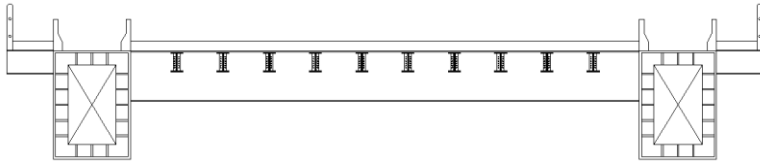
$$\begin{aligned}
 h &= 3,5 \text{ m} \\
 b &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Preliminary Box Girder

Preliminary *deck* jembatan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Penampang Melintang Dek (dalam meter)

4.1.3. Kabel

4.1.3.1. Konfigurasi Susunan Kabel

Konfigurasi susunan kabel pada arah melintang berupa *Double Planes System*, sedangkan untuk arah memanjang berupa *Semi Harp Pattern*, lihat Gambar 4.3.

1) Jarak Pemasangan

Pada modifikasi perencanaan ini direncanakan konstruksi gelagar utama dari material baja. Jarak kabel pada gelagar menurut Whalter dkk. (1999):

- Dek beton (5 m – 10m)
- Dek baja (15 m – 25 m)

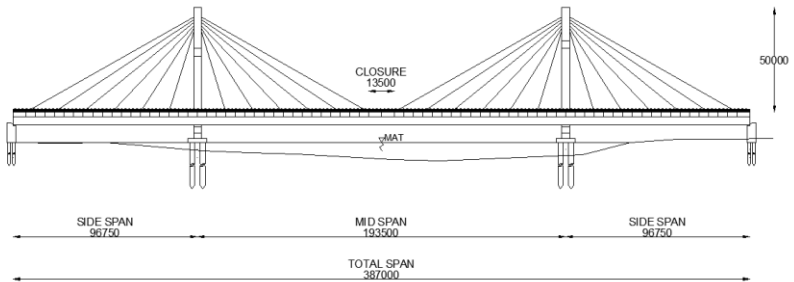
Pada desain ini menggunakan jarak kabel pada gelagar 20 m.

2) Material

Kabel yang digunakan berupa *stranded-cables* yang tersusun dari 7 buah kawat diameter 15,2 mm ASTM A416-74 Grade 270 dengan spesifikasi pada Tabel 4.1.

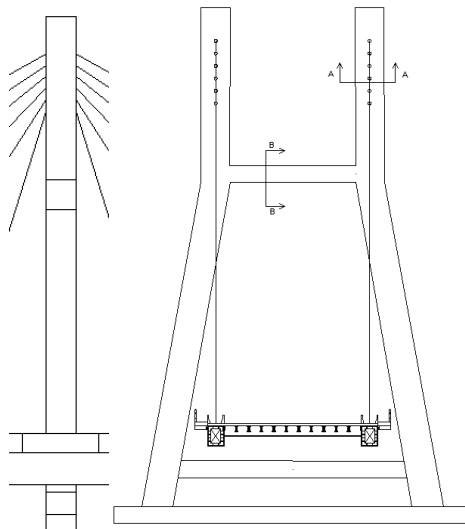
3) Tinggi *pylon* (h), menurut Parke dan Huson (2008) dapat diperkirakan dengan perbandingan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang utama (L) dengan kisaran nilai 0,2 – 0,25.

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan (H/L)} &= 0,25 \\
 L &= 193,5 \text{ m} \\
 \text{Maka diperoleh H} &= 193,5 \text{ m} \cdot 0,25 \\
 &= 48,375 \text{ m} \approx 50 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 Susunan Kabel Arah Memanjang Berupa Semi-Harp Pattern (dalam milimeter)

Ilustrasi susunan kabel arah melintang jembatan, dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Susunan Kabel Arah Melintang Berupa Double Planes System (dalam meter)

4.1.3.2. Dimensi Kabel dan Angker

Menurut **RSNI T-03-2005 pasal 12.6** kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel

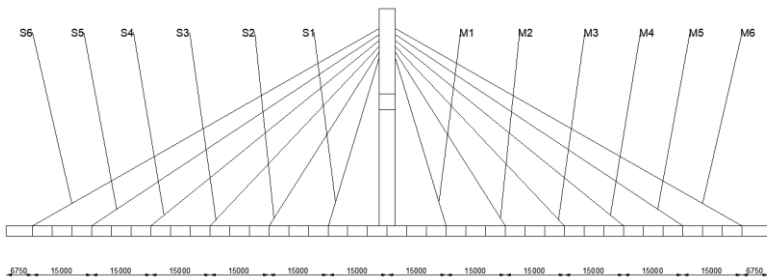
dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm^2 .

Ada dua jenis kabel paralel *VSL 7-wire strand* yang dapat digunakan untuk jembatan kabel, lihat Tabel 4.1

Tabel 4.1 Jenis Kabel dan Anker

Standard	ASTM A 416-06 Grade 270	<u>Euronorme</u> 138-3
\varnothing (mm)	15,2	15,7
A_s (mm ²)	140	150
f_u ($f_{ijin}=0,7f_u$)(Mpa)	1860 (1302)	1770 (1239)
<u>Ukuran anker</u>	7, 12, 19, 31, 37, 61, <u>dan</u> 91 strand	

Dalam perencanaan akan digunakan kabel tipe ASTM A 417-06 Grade 270 (15,2 mm ; 1860 Mpa). Kabel bentang tepi (*side span*) diberi symbol “S” dan bentang tengah (*mid span*) diberi symbol “M”. Penomoran kabel dimulai dari kabel yang terdekat dengan *pylon*



Gambar 4.5 Tatahan sistem kabel dan penamaan kabel

Dimensi awal kabel didekatkan dengan persamaan berikut (Gimsing, 1983):

$$A_{sc_0} = \frac{(W\lambda + P)\cos\theta}{\frac{(0,8f_u)\sin 2\theta}{2} - \gamma \cdot a}$$

Dimana:

A_{sc_0} = Luas penampang kabel

W = Beban mati dan hidup merata

P = Beban terpusat

λ = Jarak antar angker kabel pada gelagar

θ = Sudut kabel terhadap horizontal

γ = Berat jenis kabel (77,01 kN/m³)

f_u = Tegangan putus kabel (1860 Mpa = 1860000 kN/m²)

A = Jarak mendatar dari *pylon* ke angker kabel pada gelagar

Jumlah kabel (n)

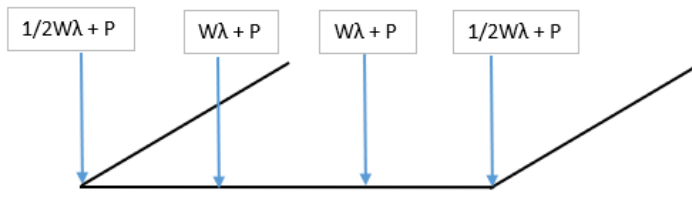
$$n = \frac{A_{sc}}{A_s}$$

Dimana:

A_s = Luas penampang kabel

1) Perhitungan $W\lambda + P$

Karena per kabel dibebani oleh 3 gelagar melintang, maka :



Gambar 4. 6 Reaksi gelagar melintang yang dipikul kabel

a) $W\lambda + P$ Balok Melintang

Berat Jenis:

Baja = 7850 kg/m³

Aspal = 2200 kg/m³

Beton = 2400 kg/m³

Bekisting = 50 kg/m²

Beban Mati:

- Gelagar Melintang

$$\begin{aligned} W &= (w \times l \times \text{factor}) / 2 \\ &= (645,27 \times 16,5 \times 1.1) / 2 \\ &= 5855,825 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Gelagar Memanjang

$$\begin{aligned} W &= (w \times l \times \text{factor}) / 2 \\ &= (175 \times 16,5 \times 1.1) / 2 \\ &= 1588,125 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Plat Beton

$$\begin{aligned} W &= \frac{(\gamma_{\text{beton}} \times l_{\text{melintang}} \times l_{\text{memanjang}} \times h' \times \text{factor})}{2} \\ &= \frac{(2400 \times 5 \times 16,5 \times 0,2 \times 2)}{2} \\ &= 45540 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Bekisiting

$$\begin{aligned} W &= (\gamma_{\text{bekisting}} \times l_{\text{melintang}} \times l_{\text{memanjang}} \times \text{factor}) / 2 \\ &= (50 \times 5 \times 16,5 \times 1.4) / 2 \\ &= 2887,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Aspal

$$\begin{aligned} W &= \frac{(\gamma_{\text{aspal}} \times l_{\text{melintang}} \times l_{\text{memanjang}} \times h' \times \text{factor})}{2} \\ &= \frac{(2200 \times 5 \times 16,5 \times 0,05 \times 2)}{2} \\ &= 9075 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jumlah beban mati yang bekerja

$$\begin{aligned} W &= 64946,5 \text{ kg} \\ &= 649,465 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban Hidup:

- Beban Terbagi Rata (BTR)

$$\begin{aligned} q &= 9 \left(0.5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kN/m}^2 \\ &\quad (\text{untuk } L > 30; L = 387 \text{ m}) \\ &= 4,848837 \text{ kN/m}^2 = 484,8837 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= q \times \text{lebar jalan} \times \text{panjang gelagar} \times (1 + \text{FBD}) \times \text{factor} / 2 \\
 &= 520,0377 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$P = 49 \text{ kN/m}$$

$$W = P_{\text{kel}} \times (1 + \text{fbd}) \times l$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dimana fbd} &= 30\% \text{ untuk } L > 200 \text{ m} \\
 &= 1051,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\lambda} + P \text{ Balok Melintang} &= 649,465 + 52,0377 + 1051,05 \\
 &= 2220,553 \text{ kN} \\
 W_{\lambda} + P \text{ Balok Melintang} \times 3 &= 2220,553 \text{ kN} \times 3 \\
 &= 6661,656 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- b) $W_{\lambda} + P$ Balok Kantilever

Beban Mati:

- Gelagar Kantilever

$$\begin{aligned}
 W &= (w \times l \times \text{factor}) / 2 \\
 &= (65,4 \times 1,5 \times 1,1) / 2 \\
 &= 53,955 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Trotoar

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{(\gamma_{\text{beton}} \times l_{\text{melintang}} \times l_{\text{memanjang}} \times h' \times \text{factor})}{2} \\
 &= \frac{(2400 \times 1,5 \times 5 \times 0,23 \times 2)}{2} \\
 &= 4140 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Bekisiting

$$\begin{aligned}
 W &= (\gamma_{\text{beton}} \times l_{\text{melintang}} \times l_{\text{memanjang}} \times \text{factor}) / 2 \\
 &= (500 \times 5 \times 1,5 \times 1,4) / 2 \\
 &= 262,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jumlah beban mati yang bekerja

$$W = 4456,455 \text{ kg}$$

$$= 44,564 \text{ kN}$$

Beban Hidup

- Beban Pejalan Kaki

$$P = 5 \text{ kpa}$$

$$= 500 \text{ kg/m}^2$$

$$q = P \times l \times \text{factor}$$

$$= 500 \times 1,5 \times 2$$

$$= 1500 \text{ kg/m}$$

$$W = q \times L$$

$$= 1500 \times 5$$

$$= 7500 \text{ kg} = 75 \text{ kN}$$

$$W\lambda + P \text{ Balok Kantilever} = 44,564 + 75$$

$$= 119,565 \text{ kN}$$

$$W\lambda + P \text{ Balok Melintang} \times 3 = 119,565 \times 3$$

$$= 358,693 \text{ kN}$$

- c) $W\lambda$ Gelagar Utama

$$W = A \times 7850$$

$$= 0,4945 \times 7850$$

$$= 3881,825 \text{ kg/m}$$

$$W\lambda = W\lambda \times L \times \text{Faktor}$$

$$= 3881,825 \times 15 \times 1.1$$

$$= 85400,2 \text{ kg}$$

$$= 854,002 \text{ kN}$$

- d) P anker

$$P = 500 \text{ kg (asumsi)}$$

$$= 5 \text{ kN}$$

Jadi

$$W\lambda + P \text{ total} = 6661,656 \text{ kN} + 358,693 \text{ kN} + 854,002 \text{ kN} + 5 \text{ kN}$$

$$= 7879,352 \text{ kN}$$

Perhitungan jumlah kabel diberikan contoh kabel S_6 ,

$$a = 90 \text{ m}$$

$$\theta = 26^\circ$$

$$W\lambda + P = 787935,2 \text{ kg}$$

$$As = 140 \text{ mm}^2$$

$$Asc = \frac{(W\lambda + P) \cdot \cos \theta}{\frac{(0,8xfu) \sin(2\theta^\circ)}{2} - \gamma \cdot a}$$

$$Asc = \frac{(787935,2) \cos 26^\circ}{\frac{(0,45 \times 186000000) \sin(2 \times 26^\circ)}{2} - 7850 \times 90} = 0,012226746 \text{ m}^2 = 12226,746 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kabel} &= \frac{Asc_0}{As} \\ &= \frac{12226,746}{140} \\ &= 88 \text{ kabel} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Perhitungan Penampang dan Jumlah Strand Kabel

No	α ($^\circ$)	$\sin 2\alpha$	$\cos \alpha$	$W\lambda + P$ (kg)	a (m)	Asc (m^2)	Asc (mm^2)	n (kabel)	r m	d m
S_9	26	0.788011	0.898794046	787935.203	90	0.012226746	12226.746	88	0.062	0.125
S_8	28	0.829038	0.882947593	787935.203	80	0.01139522	11395.22022	82	0.060	0.120
S_7	31	0.882948	0.857167301	787935.203	70	0.010368032	10368.03223	75	0.057	0.115
S_6	34	0.927184	0.829037573	787935.203	60	0.009534576	9534.575806	69	0.055	0.110
S_5	38	0.970296	0.788010754	787935.203	50	0.008647953	8647.95286	62	0.052	0.105
S_4	44	0.999391	0.7193398	787935.203	40	0.007655159	7655.1589	55	0.049	0.099
S_3	51	0.978148	0.629320391	787935.203	30	0.006835852	6835.851987	49	0.047	0.093
S_2	62	0.829038	0.469471563	787935.203	20	0.006012561	6012.561054	43	0.044	0.088
S_1	76	0.469472	0.241921896	787935.203	10	0.005469663	5469.663415	40	0.042	0.083
M_1	76	0.469472	0.241921896	787935.203	10	0.005469663	5469.663415	40	0.042	0.083
M_5	62	0.829038	0.469471563	787935.203	20	0.006012561	6012.561054	43	0.044	0.088
M_6	51	0.978148	0.629320391	787935.203	30	0.006835852	6835.851987	49	0.047	0.093
M_4	44	0.999391	0.7193398	787935.203	40	0.007655159	7655.1589	55	0.049	0.099
M_3	38	0.970296	0.788010754	787935.203	50	0.008647953	8647.95286	62	0.052	0.105
M_6	34	0.927184	0.829037573	787935.203	60	0.009534576	9534.575806	69	0.055	0.110
M_7	31	0.882948	0.857167301	787935.203	70	0.010368032	10368.03223	75	0.057	0.115
M_8	28	0.829038	0.882947593	787935.203	80	0.01139522	11395.22022	82	0.060	0.120
M_9	26	0.788011	0.898794046	787935.203	90	0.012226746	12226.746	88	0.062	0.125

Perhitungan jumlah kabel diberikan contoh kabel S_6 ,

$$r = \sqrt{\frac{\pi}{A_{\text{kabel}}}}$$

Kabel S_6

$$A_{\text{kabel}} = 0,01223 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{\frac{\pi}{A_{kabel}}} \\
 &= \sqrt{\frac{\pi}{0,01223}} \\
 &= 0,062 \text{ m} \\
 d &= 2r \\
 &= 2 \cdot 0,062 \\
 &= 0.125 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Perhitungan Penampang dan Jumlah Strand Kabel

No	r	d
	m	m
S ₆	0.062	0.125
S ₅	0.058	0.117
S ₄	0.054	0.109
S ₃	0.050	0.101
S ₂	0.046	0.092
S ₁	0.042	0.085
M ₁	0.042	0.085
M ₂	0.046	0.092
M ₃	0.050	0.101
M ₄	0.054	0.109
M ₅	0.058	0.117
M ₆	0.062	0.125

Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan akibat berat sendiri. Tetapi dalam analisa dapat digunakan kabel yang lurus dengan koreksi pada nilai modulus elastisitasnya, sebagai berikut (Munaf dan Ryanto, 2004) :

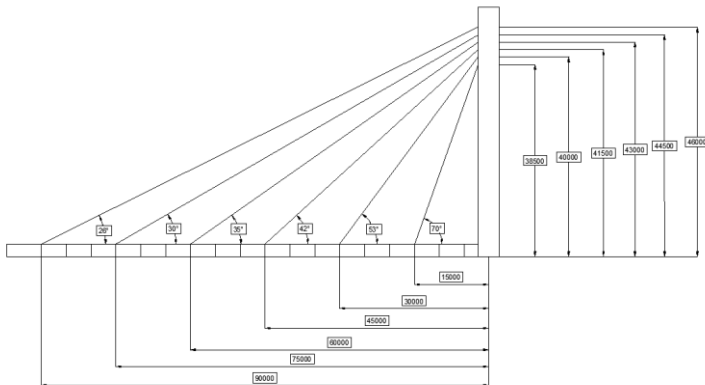
$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{(\gamma \cdot l)^2}{12 \cdot \sigma^3} E}$$

Dimana:

E_{eq} = Modulus elastisitas ekivalen

- E = Modulus elastisitas kabel = 200000 Mpa
 γ = Berat jenis kabe = 77 kN/m³ = 77 x 10⁻⁶ N/mm³
 σ = Tegangan tarik dalam kabel = 0,7 f_u = 1302 Mpa
 l = Jarak titik gantung kabel = $\sqrt{a^2 + b^2}$

Perhitungan modulus elastisitas ekivalen masing-masing kabel diberikan contoh kabel L₁,



Gambar 4.7 Tatanan sistem kabel

$$\begin{aligned}
 l &= \sqrt{a^2 + b^2} \\
 &= \sqrt{46 + 90^2} \\
 &= 101,074 \text{ m} \\
 E_{\text{eff}} &= \frac{E_o}{1 + \left(\frac{\gamma^2 + L^2 + E_o}{12 + \sigma^3} \right)} \\
 &= \frac{2^{10}}{1 + \left(\frac{7850^2 + 101,074^2 + 2^{10}}{12 + (83700000)^3} \right)} \\
 &= 19958802703 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 199588,027 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Perhitungan modulus elastisitas ekivalen

No	a	b	L (a ² +b ²) ^{1/2}	Eo	γ	o	Eeff	Eeff
	(m)	(m)	(m)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(Mpa)
S9	46	90	101.074	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
S8	44.5	80	91.544	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
S7	43	70	82.152	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
S ₆	41.5	60	72.954	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
S ₅	40	50	64.031	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
S ₄	38.5	40	55.518	20000000000	7850	83700000	19972085592	199720.856
S ₃	37	30	47.634	20000000000	7850	83700000	19982544537	199825.445
S ₂	35.5	20	40.746	20000000000	7850	83700000	19990170637	199901.706
S ₁	34	10	35.440	20000000000	7850	83700000	19994905726	199949.057
M ₁	34	10	35.440	20000000000	7850	83700000	19994905726	199949.057
M ₂	35.5	20	40.746	20000000000	7850	83700000	19990170637	199901.706
M ₃	37	30	47.634	20000000000	7850	83700000	19982544537	199825.445
M ₄	38.5	40	55.518	20000000000	7850	83700000	19972085592	199720.856
M ₅	40	50	64.031	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
M ₆	41.5	60	72.954	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
M ₇	43	70	82.152	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
M ₈	44.5	80	91.544	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
M ₉	46	90	101.074	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027

Dari Tabel 4.4 dapat diamati bahwa koreksi elastisitas yang terjadi sangatlah kecil (kurang dari 0,5%) sehingga dapat diabaikan. Hal ini berarti lendutan kabel yang terjadi sangatlah kecil, sehingga dapat dianggap sebagai kabel lurus.

4.1.4. Struktur Pylon

Besarnya dimensi *pylon* diperkirakan berdasar nilai jumlah gaya aksial tekan kabel untuk satu sisi kolom vertikal.

- 1) Material *pylon* = beton bertulang
- 2) f'_c = 40 Mpa
- 3) f_y = 400 Mpa

Luas penampang *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{perlu}} = \frac{T}{f'_c}$$

Dimana:
A_{perlu} = Luas penampang *pylon*
T = Gaya aksial total *pylon*
Asumsi,
b = lebar penampang

h = tinggi penampang (1,5b)
 0,3 dari f_c' untuk dapat menahan momen

Besarnya gaya yang terjadi pada *pylon* akibat kabel dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan gaya aksial pada pylon

No	a	P
	(°)	(kg)
S ₆	26	787935.2
S ₅	30	787935.2
S ₄	35	787935.2
S ₃	42	787935.2
S ₂	53	787935.2
S ₁	70	787935.2
M ₁	70	787935.2
M ₂	53	787935.2
M ₃	42	787935.2
M ₄	35	787935.2
M ₅	30	787935.2
M ₆	26	787935.2
Total		9455222

Gaya aksial total (T) = 9455222 kN

b = lebar penampang

h = tinggi penampang (1,5b), asumsi

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \frac{T}{0,3 \times f'_c} \\
 &= \frac{9455222}{40 \times 0,3} \\
 &= 78793.5 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$b_{\text{perlu}} = \sqrt{\frac{A}{1,5}} 1,5 = 229,192 \text{ cm}$$

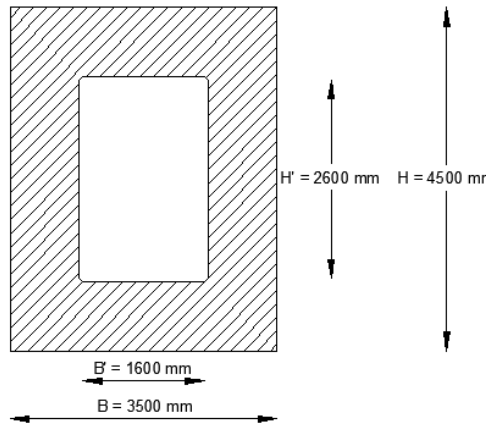
$$\begin{aligned} h_{\text{perlu}} &= 1,5b \\ &= 1,5 \times 229,192 \\ &= 343,788 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka dimensi perlu *pylon* yang diperoleh pada preliminary ini adalah

$$b = 3,5 \text{ m}$$

$$h = 4,5 \text{ m}$$

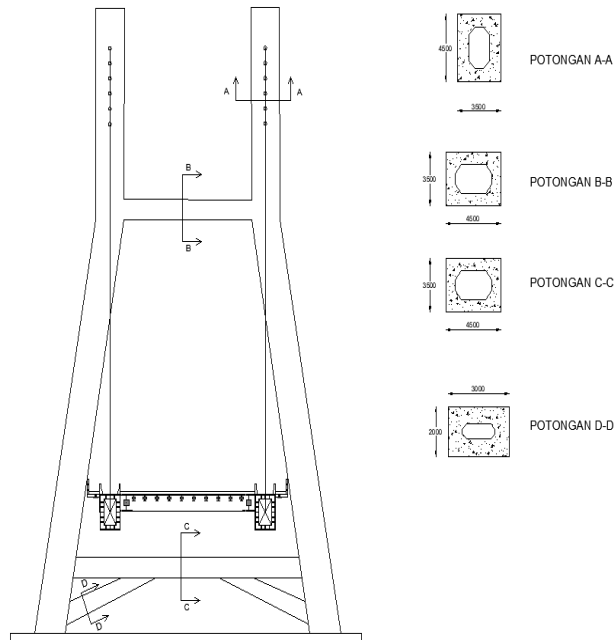
Dikarenakan penampang memiliki void maka penampang dicoba seperti Gambar 4.8 di bawah ini:



Gambar 4.8 Dimensi Penampang Pylon (Menara)

$$\begin{aligned} A_{\text{pakai}} &= b \times h - (b' \times h') \\ &= 350 \times 450 - (160 \times 260) \\ &= 115900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_{\text{pakai}} > A_{\text{perlu}}$ maka penampang dapat digunakan



Gambar 4.9 Gambar Rencana Pylon

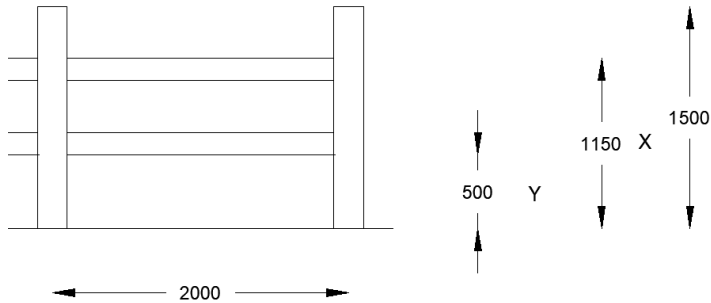
4.2. Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak mempengaruhi struktur utama atau hanya sebagai beban yang membebani struktur utama. Dalam perencanaan jembatan ini, struktur sekunder terdiri dari pelat lantai dan sandaran. Struktur sekunder dianalisa secara terpisah dengan struktur utama. Hasil perhitungan struktur sekunder dapat berlaku sebagai beban saat analisa struktur utama jembatan.

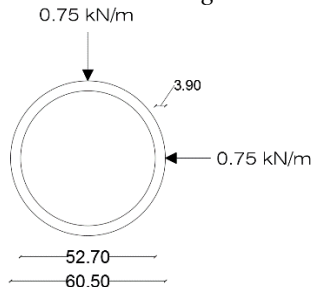
4.2.1. Pipa Sandaran

Berdasarkan pada RSNI T-02-2005 pasal 12.5, beban yang bekerja pada sandaran adalah berupa gaya horizontal dan vertikal sebesar $w = 0,75 \text{ kN/m}$ dan bekerja pada ketinggian 120 cm dari

lantai trotoar. Sandaran menggunakan profil pipa dengan diameter 60,5 mm, lihat Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Tiang sandaran



Gambar 4.11 Profil dan gaya pipa sandaran

Data perencanaan sandaran:

Panjang total jembatan = 387 m

Jarak tiang sandaran = 2 m

Bahan yang digunakan:

- 1) Mutu beton f_c = 370 MPa
- 2) Mutu baja f_y = 240 MPa
- 3) Pipa sandaran:
 - Diameter luar (d_0) = 60,5 mm
 - Berat pipa (q) = 5,44 kg/m
 - Tebal pipa (t) = 3,9 mm

4.2.1.1. Perhitungan Momen Pipa Sandaran

1. Akibat beban sendiri/ berat pipa sandaran

$$\begin{aligned} M_{VD} &= 1/8 q l^2 \\ &= 1/8 \times 5,44 \times 2^2 \\ &= 2,72 \text{ kgm} \\ &= 0,0272 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Akibat beban vertikal

$$\begin{aligned} M_{VL} &= 1/8 w l^2 \\ &= 1/8 \times 0,75 \times 2^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \\ M_V &= M_{VD} + M_{VL} \\ &= 0,0272 + 0,375 \\ &= 0,4022 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Akibat beban horisontal

$$\begin{aligned} M_H &= 1/8 w l^2 \\ &= 1/8 \times 0,75 \times 2^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen resultan } (M_R) &= \sqrt{M_H^2 + M_V^2} \\ &= \sqrt{0,4022^2 + 0,375^2} \\ &= 0,549 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.2.1.2. Cek Kekuatan Profil Pipa Sandaran

1. Cek penampang profil

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{d_o}{t} = \frac{60,5}{2} = 30,25 \\ \lambda_p &= \frac{14800}{f_y} = \frac{14800}{240} = 61,67 \end{aligned}$$

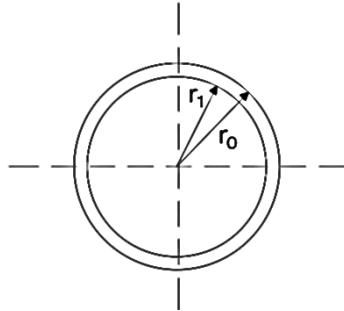
Karena $\lambda < \lambda_p$ (penampang kompak)

maka kuat lentur nominal penampang adalah $M_n = M_p = Z_x f_y$

2. Kuat lentur nominal

$$Z_x = \frac{4}{3}(r_o^3 - r_1^3)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4}{3} (30,25^3 - 26,35^3) \\
 &= 12513,657 \text{ mm}^3 \\
 M_n &= Z_x f_y \\
 &= 12513,657 \times 240 \\
 &= 3003277,68 \text{ Nmm} \\
 &= 3,003 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 12 Panampang Pipa Sandaran

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 3,003 \\
 &= 2,702 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_R = 0,5499 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_R$$

Maka profil dapat dipakai

4.2.2. Tiang Sandaran

4.2.2.1. Penulangan Tiang Sandaran

$$h = 1500 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$d' = 250 \text{ mm}$$

$$Dsengkang = 6 \text{ mm}$$

$$Dlentur = 13 \text{ mm}$$

$$f_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$Mu = 1725000 \text{ Nmm}$$

$$d = h - h_{selimut} - \emptyset_{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset_{tulangan \text{ utama}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 250 - 50 - 6 - \frac{1}{2} \cdot 13 \\
 &= 187,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b \times d^2} \\
 &= \frac{1725000}{0,8 \cdot 200 \times 185,5^2} \\
 &= 0,313332 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 20}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,313332}{0,85 \times 20}} \right) \\
 &= 0,00129
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\
 &= \frac{240}{0,85 \cdot 20} \\
 &= 14,11765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c \cdot 0,85}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 20 \cdot 0,85}{240} \times \frac{600}{600 + 240} \\
 &= 0,04301
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,04301 \\
 &= 0,032254464
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{240} \\
 &= 0,005833
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{14,11765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,11765 \cdot 0,23108}{240}} \right) \\
 &= 0,00097
 \end{aligned}$$

Syarat

$$\rho_{max} > \rho > \rho_{min}$$

$$0.03225 > 0.00097 > 0.005833$$

karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka dipakai ρ_{min} , 0,005833

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 250 \cdot 185,5 \\ &= 218,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

n tulangan = 3 buah

Kontrol jarak tulangan

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - (2d + 2Dsengakang + nD)}{n-1} \\ &= \frac{b - (2 \cdot 216 + 2 \cdot 6 + 4 \cdot 13)}{4-1} \\ &= 62 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 2D13-60

Kontrol tulangan

$$As_{perlu} = 216,417 \text{ mm}^2$$

$$As_{pakai} = 265,33 \text{ mm}^2$$

Penulangan Geser Tiang Sandaran

Kontrol tulangan

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{\sqrt{20}}{6} \cdot 200 \cdot 187,5 \\ &= 27950,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c' &= \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,6 \cdot 27950,8 \\ &= 9782,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Beban Hidup

$$W_l = W \times l \times 1,8$$

$$\begin{aligned}
 &= 750 \times 2 \times 1,8 \\
 &= 2700 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Beban Mati

$$\begin{aligned}
 W_d &= \text{beban tiang} + \text{beban pipa} \\
 &= (B.h.tinggi \cdot \gamma \cdot 1,3) + (Q.l.1,1.2) \\
 &= (0,25 \times 0,2 \times 1,5 \times 24 \times 1,3) + (0,00544 \times 2 \times 1,1 \times 2) \\
 &= 2,34 + 0,023936 \\
 &= 2.36394 \text{ kN} \\
 V_h &= \text{Beban mati} + \text{beban Hidup} \\
 &= 5063,94 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned}
 V_c' &= 9782,8 \text{ N} \\
 V_h &= 5063,94 \text{ N} \\
 V_c' &> V_h \quad (\text{tidak perlu tulangan geser})
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan geser praktis
D10 - 150

4.2.3. Pelat Lantai Kendaraan

4.2.3.1. Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

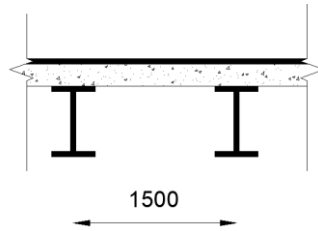
Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan lebar 1,5 m dan panjang 5 m. Berdasarkan **RSNI T-12-2004** tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan, persyaratan tebal pelat (d_3) dapat dihitung dengan perumusan dibawah ini:

Ditentukan jarak antar balok memanjang (b_1) = 1,5 m

$$d_3 \geq 100 + 40 b_1, \text{ atau } d_3 \geq 200 \text{ mm}$$

$$d_3 \geq 100 + 40 (1,5)$$

$$d_3 \geq 160 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$



Gambar 4.13 Pelat lantai kendaraan

Sedangkan untuk perencanaan tebal aspal berdasarkan dapat dilihat sebagai berikut:

$$d_4 > 50 - 80 \text{ mm}$$

Dari syarat diatas maka diambil

$$\text{tebal aspal } (d_4) = 50 \text{ mm}$$

$$\text{tebal pelat } (d_3) = 200 \text{ mm}$$

4.2.3.2. Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Perencanaan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai peraturan **SNI 1725:2016**, dengan perhitungan pembebanan sebagai berikut:

- Perhitungan beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= d_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}} \\ &= 0,2 \text{ m} \times 2400 \times 1 \times 1,3 \\ &= 624 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal} &= d_{\text{aspal}} \times \gamma_{\text{aspal}} \times 1 \text{ m} \times \gamma_{\text{MA}}^{\text{U}} \\ &= 0,05 \text{ m} \times 2200 \times 1 \times 1,3 \\ &= 143 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total } (q_{\text{mati}}) = 624 + 143 = 767 \text{ kg/m}$$

- Perhitungan beban hidup

Beban roda truk = 11250 kg, dengan melihat grafik faktor kejut DLA (*Dynamic Load Allowance*) didapatkan besaran DLA yaitu 30% atau 0.3.

$$\begin{aligned} T &= (1 + 0,3) \times 11250 \\ &= 14625 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T(q_{hidup}) &= \gamma_{TT}^U \times T \\
 &= 2 \times 14625 \\
 &= 29250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.2.3.3. Perhitungan Momen-Momen Arah Melintang

Perhitungan momen-momen arah melintang akibat beban mati dan beban hidup berupa beban truk dapat dilihat sebagai berikut:

- $$\begin{aligned}
 M_D &= \frac{1}{10} \times q_{mati} \times b^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 767 \times 1^2 \\
 &= 76,7 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$
- Perhitungan momen akibat beban hidup :

$$\begin{aligned}
 M_L &= 0.8 \times \frac{b + 0.6}{10} \times q_{hidup} \\
 &= 0.8 \times \frac{1 + 0.6}{10} \times 1 \times 29250 \\
 &= 3744 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Momen total

$$\begin{aligned}
 M_u &= 3744 + 76,7 \\
 &= 3820,7 \text{ kgm} \\
 &= 38207000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

4.2.3.4. Perhitungan Penulangan Lentur Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut ini merupakan data perencanaan lantai kendaraan:

- Mutu beton (f'_c) = 40 MPa
- Mutu baja tulangan utama (f_y) = 390 MPa
- Mutu baja tulangan susut (f_y) = 240 MPa
- Kebutuhan tebal *decking* = 40 mm
- Diameter tulangan utama (D) = 13 mm
- Diameter tulangan susut (\emptyset) = 8 mm
- β ($f'_c = 25 \text{ MPa} < 28 \text{ MPa}$) = 0.764

Perhitungan penulangan lentur lantai kendaraan dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &= h - \phi - \left(\frac{1}{2} \times D\right) - \text{decking} \\ &= 200 - 8 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) - 40 \\ &= 145,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{0.9 \times b \times d^2} \\ &= \frac{38207000}{0.9 \times 1000 \times 145,5^2} \\ &= 2,255 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0.85 \times f'c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 40} \\ &= 11,471 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{11,471} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,471 \times 2,255}{390}}\right) \\ &= 0,00599 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00599 \times 1000 \times 145,5 \\ &= 871,582 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s fy}{0,85 f'c b} \\ &= \frac{871,582 \times 390}{0,85 \times 40 \times 1000} \\ &= 9,99755 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b} \\ &= 13,08092 \end{aligned}$$

$$c = 13,08092 \leq 0,375dt = 54,5625 \text{ (OK)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &\leq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \\
 &\leq \frac{38207000}{0,9 \cdot 390 \cdot \left(145,5 - \frac{9,99755}{2}\right)} \\
 &\leq 871,582 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{min}} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{0,25\sqrt{40}}{390} \times 1000 \times 145,5 \\
 &= 589,8864 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{390} \times 1000 \times 145,5 \\
 &= 522,307 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s\text{perlu}} = 871,582 \geq A_{s\text{min}} = 589,8864$$

$$\text{Maka } A_{s\text{pakai}} = 871,582 \text{ mm}^2$$

Menentukan jarak tulangan lentur terpasang

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{1000 \times A_{stul}}{A_{s\text{perlu}}} \\
 &= 152,211 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s_{\text{pakai}} = 150$$

Maka digunakan tulangan lentur pelat D13 - 150

Perhitungan penulangan susut pelat lantai kendaraan

Perhitungan tulangan susut dapat dilihat mutu tulangan f_y 400 Mpa, paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times A_{\text{bruto pelat}} \\
 &= 0,0018 \times 156 \times 1000 \\
 &= 280,8 \text{ mm}^2 \\
 A_{s_{\text{tul}}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 \\
 &= 50,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan

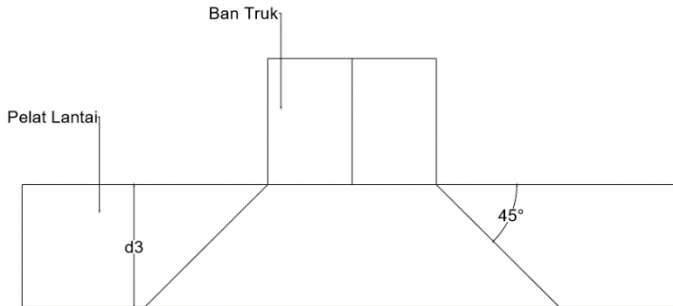
$$\begin{aligned}
 s &= \frac{1000 \times A_{s_{\text{tul}}}}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\
 &= 178,91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{\text{pakai}} = 175 \text{ mm}$

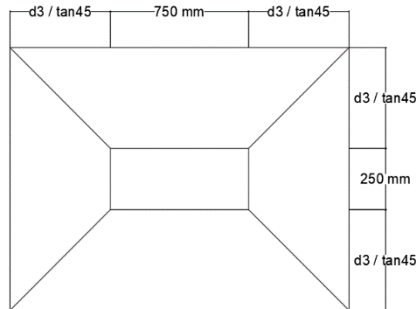
Maka digunakan tulangan susut pelat Ø8 – 175

4.2.3.5. Kontrol Penulangan Geser (Pons) Pelat Lantai Kendaraan

Perhitungan penulangan geser (*pons*) untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan ukuran roda truk, sedangkan untuk kemiringan sudut geser pons diambil sebesar 45° yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14



Gambar 4.14 Tampak samping ilustrasi Geser Pons



Gambar 4.15 Tampak atas ilustrasi Geser Pons

Tebal pelat (d_3) sebesar 20 cm, perhitungan dan kontrol pelat lantai kendaraan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_0 &= 750 + \left(2 \times \frac{d_3}{\tan 45} \right) = 750 + \left(2 \times \frac{200}{\tan 45} \right) \\ &= 996.95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_0 &= 250 + \left(2 \times \frac{d_3}{\tan 45} \right) = 250 + \left(2 \times \frac{200}{\tan 45} \right) \\ &= 496.95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 2 \times (b_0 + d_0) = 2 \times (996.95 + 496.95) \\ &= 2987.80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= b \times d_3 \\ &= 2 \times (996.95 + 496.95) \\ &= 597558.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \gamma_{TT}^U \times 112.5 \times (1 + DLA) \\ &= 2 \times 112.5 \times (1 + 0.3) \\ &= 263.25 \text{ kN} \end{aligned}$$

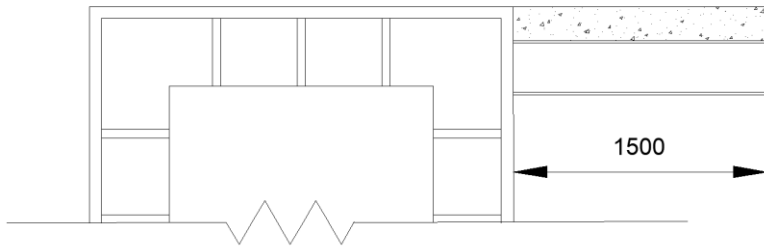
$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times A \times 0.17 \times \sqrt{f_c} \\ &= 0.75 \times 600000 \times 0.17 \times \sqrt{40} \\ &= 483828 \text{ N} \\ &= 483,828 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan besarnya $\phi V_n > V_u$. Maka pelat lantai kendaraan tanpa tulangan geser cukup kuat untuk menahan beban roda truk terpusat pada tengah bentang pelat lantai kendaraan.

4.2.4. Trotoar

4.2.4.1. Perencanaan trotoar

Perencanaan trotoar direncanakan untuk memikul beban nominal berdasarkan luasannya, trotoar direncanakan dengan lebar 1.5 m dan panjang 5 m dengan ketebalan pelat 250 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Trotoar

4.2.4.2. Pembebanan Trotoar

Perencanaan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai peraturan **SNI 1725:2016**, dengan perhitungan pembebanan sebagai berikut:

- Perhitungan beban mati

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri pelat} &= d_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1000 \text{ mm} \times \gamma_{\text{MS}}^U \\ &= 200 \text{ mm} \times 24 \times 10^{-7} \times 1000 \times 1.3 \\ &= 0,624 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat pipa sandaran} &= q_{\text{sandaran}} \times n_{\text{pipa}} \\ &= 0,00544 \times 2 \\ &= 0,0108 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat tiang sandaran} &= (b.d.L) \times \gamma_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{MS}}^U \times 1000 \text{ mm} \times n_{\text{tiang}} \\ &= (200 \times 250 \times 1500) \times 24 \times 2 \times 1000 \times 2 \\ &= 0,360 \text{ kg}\end{aligned}$$

Berat total

$$q_{\text{mati}} = 0,624 + 0,0108 = 0,63488 \text{ kg/mm}$$

$$p_{\text{mati}} = 0,360 \text{ kg}$$

- Perhitungan beban hidup
 Pejalan kaki $= q_{\text{pejalan kaki}} \times 1000 \text{ mm} \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}}$
 $= 5 \times 10^{-4} \times 1000 \times 1,5$
 $= 0.75 \text{ kg/mm}$

4.2.4.3. Perhitungan Momen

Perhitungan momen-momen arah melintang akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_D &= ((q \times 5) + p) \times 0.5 \\ &= ((0,63488 \times 5) + 0,360) \times 0,5 \\ &= 2127,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_L &= (q \times 5) \times 0,5 \\ &= (0.75 \times 5) \times 0,5 \\ &= 0,1875 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban hmati:
 $M_D = (V_D \times 2,5) - (q \times 5 \times 2,5 + p \times (0,5+2,5+4,5))/5$
 $= (2127,2 \times 2,5) - (634,88 \times 5 \times 2,5 + 360 \times (0,5+2,5+4,5))/5$
 $= 2884 \text{ kgm}$
- Perhitungan momen akibat beban hidup:
 $M_L = (V_L \times 2.5) - (q \times 2.5 \times 1.25)$
 $= (0.1875 \times 2.5) - (0.75 \times 2.5 \times 1.25)$
 $= 2343,75 \text{ kgm}$

Momen total

$$\begin{aligned} M_u &= 2884 + 2343.75 \\ &= 5227,75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

4.2.4.4. Perhitungan Penulangan Trotoar

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut ini merupakan data perencanaan lantai kendaraan:

- Mutu beton ($f'c$) $= 40 \text{ MPa}$
- Mutu baja tulangan utama (f_y) $= 390 \text{ MPa}$

- Mutu baja tulangan susut (f_y) = 240 MPa
- Kebutuhan tebal *decking* = 40 mm
- Diameter tulangan utama (D) = 12 mm
- Diameter tulangan susut (\emptyset) = 6 mm
- β ($f'_c = 25 \text{ MPa} < 28 \text{ MPa}$) = 0.764

Perhitungan penulangan lentur lantai kendaraan dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &= h - \emptyset - \left(\frac{1}{2} \times D\right) - \text{decking} \\ &= 200 - 6 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) - 40 \\ &= 147,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{0.9 \times b \times d^2} \\ &= \frac{52277500}{0.9 \times 1500 \times 147,5^2} \\ &= 2,002394 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 40} \\ &= 11.471 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{11.471} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.471 \times 2,002394}{390}}\right) \\ &= 0,005295 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,005295 \times 1500 \times 147,5 \\ &= 1171,553 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b} \\ &= \frac{1171,553 \times 390}{0.85 \times 40 \times 1500} \\ &= 8,95893 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{b} = 11,72197$$

$$c = 11,72197 \leq 0,375dt = 55,3125 \text{ (OK)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &\leq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \\ &\leq \frac{52277500}{0,9 \cdot 390 \cdot \left(147,5 - \frac{8,9589}{2} \right)} \\ &\leq 1171,553 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

$$\begin{aligned} A_{s\text{min}} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25\sqrt{40}}{390} \times 1500 \times 147,5 \\ &= 896,992 \text{ mm}^2 \\ A_{s\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{390} \times 1500 \times 147,5 \\ &= 794,231 \end{aligned}$$

$$A_{s\text{perlu}} = 1171,553 \geq A_{s\text{min}} = 794,231$$

$$\text{Maka } A_{s\text{pakai}} = 1171,834$$

Menentukan jumlah tulangan lentur terpasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} \\ &= 10 \text{ buah} \\ s &= \frac{b - (2d) - (n - D_{tul}) - (2\phi)}{n - 1} \\ &= \frac{1500 - (2 \cdot 20) - (10 - 13) - (2 \cdot 6)}{9 - 1} \\ &= 176,5 \end{aligned}$$

$$s_{\text{pakai}} = 176,5 \geq s_{\text{min}} = 450 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan lentur pelat D13 – 175

4.2.4.5. Perhitungan penulangan susut trotoar

Perhitungan tulangan susut dapat dilihat mutu tulangan fy 400 Mpa, paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times A_{\text{bruto pelat}} \\ &= 0,0018 \times 147,5 \times 1500 \\ &= 398,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{tul}}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6^2 \\ &= 28,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tul}} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{tul}}}} \\ &= 15 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - (2d) - (n - D_{\text{tul}}) - (2\phi)}{n - 1} \\ &= \frac{5000 - (2 \cdot 40) - (15 - 13) - (2 \cdot 6)}{15 - 1} \\ &= 358 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s = 358 > s_{\text{min}} = 450 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan susut pelat D6 - 300

4.3. Gelagar

4.3.1. Gelagar Memanjang

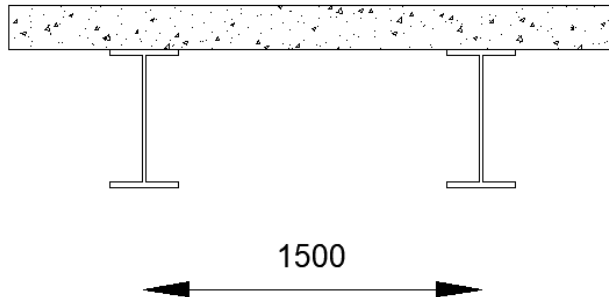
4.3.1.1. Perencanaan Gelagar Memanjang

Untuk perencanaan balok memanjang ini menggunakan baja dengan mutu BJ41 seperti pada **Gambar 4.16**, dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Tegangan leleh (fy)} = 250 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan ultimate (fu)} = 40 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = 200000 \text{ MPa}$$



Gambar 4. 17 Gelagar Memanjang Jembatan

Perencanaan gelagar memanjang menggunakan profil WF 600.300.14.23 dengan data detail profil sebagai berikut:

$A = 222,4 \text{ cm}^2$	$i_x = 24,9 \text{ cm}$
$d = 612 \text{ mm}$	$i_y = 6,9 \text{ cm}$
$b_f = 302 \text{ mm}$	$I_x = 137000 \text{ mm}^4$
$t_w = 14 \text{ mm}$	$I_y = 10600 \text{ cm}^4$
$t_f = 23 \text{ mm}$	$Z_x = 5017 \text{ cm}^3$
$r = 28 \text{ mm}$	$Z_y = 1076 \text{ cm}^3$
$w = 175 \text{ kg/m}$	$h = 510 \text{ mm}$

4.3.1.2. Pembebanan Gelagar Memanjang

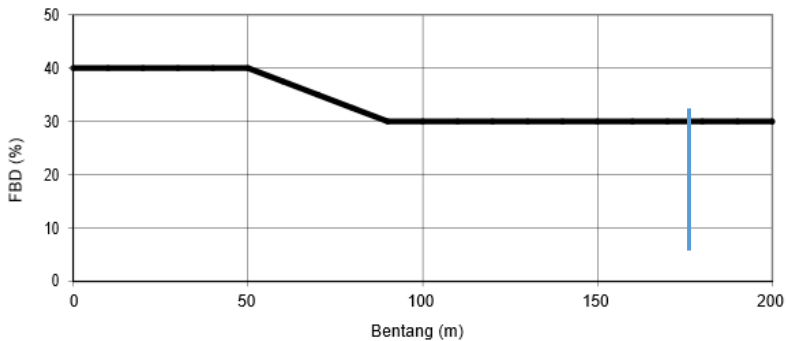
- **Beban Mati Ultimate**
 Pelat beton $= 0,2 \times 2400 \times 1,500 \times 1,3 = 936 \text{ kg/m}$
 Aspal $= 0,05 \times 2250 \times 1,500 \times 2 = 330 \text{ kg/m}$
 Bekisting $= 50 \times 1,500 \times 2 = 150 \text{ kg/m}$
 Berat Sendiri $= 175 \times 1,1 = 192,5 \text{ kg/m}$
 $Q_D = 936 + 330 + 150 + 192,5 = 1608,5 \text{ kg/m}$
- **Beban Hidup Ultimate**
 Beban Terbagi Rata (BTR)
 (untuk $L > 30$; $L = 387 \text{ m}$)
 $q = 9 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kN/m}^2$ (SNI 1725:2016 Pasal 8.3.1)
 $= 4,848837 \text{ kN/m}^2 = 484,8837 \text{ kg/m}^2$
 $Q_L = q \times b_l \times \gamma_{TD}^U$
 $= 484,8837 \times 1,500 \times 2$

$$= 1454,6511 \text{ kg/m}$$

- **Beban Garis (BGT)**

Beban garis (BGT) sebesar p kN/m ditempatkan tegak lurus dari arah lalu-lintas pada jembatan dimana besarnya $P = 49$ kN. Faktor beban dinamik yang berlaku untuk KEL ditentukan melalui **Gambar 4.17** dibawah sehingga didapatkan nilai $DLA = 30\%$. Beban garis yang bekerja sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_1 &= (1 + DLA) \times P \times b_1 \times \gamma_{TD}^U \\ &= (1 + 0.3) \times 4,9 \times 1,500 \times 2 \\ &= 19110 \text{ kg} \end{aligned}$$



Gambar 4. 18 Faktor Beban Dinamis (SNI 1725:2016 Gambar 28)

- **Beban Truk (T)**

Beban Truk (T) adalah 112,5 kN (SNI 1725:2016 pasal 8.4) dengan faktor kejut $DLA = 0,3$. Beban truk yang bekerja sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_u &= T \times (1 + DLA) \times \gamma_{TT}^U \\ &= 112.5 \times (1 + 0,3) \times 2 \\ &= 292,50 \text{ kN} = 29250 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.3.1.3. Perhitungan Momen

Perhitungan momen-momen akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

- **Beban Mati Ultimate**

$$\begin{aligned}
 M_D &= \frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 1608,5 \times 5^2 \\
 &= 5026,6 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- **Beban Hidup**

$$\begin{aligned}
 M_{L1} &= \left(\frac{1}{8} \times Q_L \times \lambda \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_1 \times \lambda \right) \\
 &= \left(\frac{1}{8} \times 1454,65 \times 5 \right) + \left(\frac{1}{4} \times 19110 \times 5 \right) \\
 &= 28433,2849 \text{ kgm} \\
 M_{L2} &= \frac{1}{4} \times Tu \times \lambda \\
 &= \frac{1}{4} \times 29250 \times 5 \\
 &= 36563 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Karena $M_{L2} > M_{L1}$ maka dipakai momen terbesar akibat beban hidup yaitu $M_L = M_{L2} = 36562,5 \text{ kgm}$, sehingga momen *ultimate* akibat beban hidup dan beban mati sebesar :

$$\begin{aligned}
 M_U &= M_D + M_L \\
 &= 5026,6 + 36563 \\
 &= 41589,0625 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

4.3.1.4. Kontrol Profil Gelagar Memanjang

4.3.1.4.1. Kontrol Local Buckling

Kontrol penampang:

$$\begin{aligned}
 \text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} &\leq \frac{170}{\sqrt{fy}} \\
 \frac{302}{2 \times 23} &\leq \frac{170}{\sqrt{250}} & 6,565 < 10.75 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Badan} : \frac{h}{tw} &\leq \frac{1680}{\sqrt{fy}} \\
 \frac{510}{14} &\leq \frac{1680}{\sqrt{250}} & 36,42 < 106.25 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \cdot f_y & (\text{SNI 1729-2015, F2-1}) \\
 &= 5017 \times 2500 \\
 &= 12542500 \text{ kgcm} = 125425 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n \quad (\text{SNI 1729-2015, F1, 1})$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,9 \times 125425 \\
 &= 112882,5 \text{ kgm} > M_U = 41589,0625 \text{ kgm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

4.3.1.4.2. Kontrol Lateral Buckling

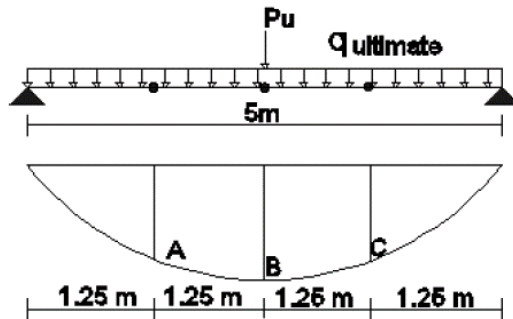
$$L_B = 500 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_P &= 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{SNI 1729-2015, F2-5}) \\
 &= 343,48419 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_R &= i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{x_2 f_L^2}} \\
 &= 1076,136 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Karena $L_P < L_B < L_R$ maka termasuk bentang menengah. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = C_b \times (M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P})$$



Gambar 4.19 Titik Momen pada Gelagar Memanjang

$$\begin{aligned}
 q_U &= (1,2q_D) + (1,6q_L) \\
 &= (1,2 \cdot 1608,5) + (1,6 \cdot 1454,651) \\
 &= 4257,641 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_U &= 1,6 \cdot P_{KEL} \\
 &= 1,6 \cdot 19110
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 30576 \text{ kg} \\
V_{A-C} &= \frac{q_U \cdot L}{2} + \frac{P_U}{2} \\
&= 25932,105 \text{ kg} \\
M_{A-C} &= (V_A \cdot 1,25) - (0,5 \cdot q_U \cdot 1,25^2) \\
&= (25932,105 \cdot 1,25) - (0,5 \cdot 4257,641 \cdot 1,25^2) \\
&= 29088,848 \text{ kgm} \\
M_B &= (V_A \cdot 2,5) - (0,5 \cdot q_U \cdot 2,5^2) \\
&= (25932,105 \cdot 2,5) - (0,5 \cdot 4257,641 \cdot 2,5^2) \\
&= 51525,13081 \text{ kgm} \\
C_b &= \frac{1,25 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,30 \text{ (SNI 1729-2015, F1-1)} \\
&= 1,264 \leq 2,30 \quad \text{(OK)} \\
M_R &= S_x x (f_y - f_r) \\
&= 4620 x (2500 - 700) \\
&= 8316000 \text{ kgcm} \\
M_p &= Z_x \cdot f_y \\
&= 12542500 \text{ kgcm} \\
M_n &= C_b x (M_R + (M_p - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P}) \text{ (SNI 1729-2015, F2-2)} \\
&= 14715279,01 \text{ kgcm} \\
\phi M_n &= 0,9 x 147152,7901 \\
&= 132437,51 \text{ kgm} \\
\phi M_n &= 132437,5111 \text{ kgm} > M_U = 41589,06 \text{ kgm} \quad \text{(OK)}
\end{aligned}$$

4.3.1.4.3. Kontrol Rencana Geser

Kontrol penampang:

$$\begin{aligned}
\text{Badan : } \frac{h}{tw} &\leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{F_y}} \\
\frac{510}{14} &\leq 1,10 \sqrt{\frac{5.200000}{250}} \\
36,428 &\leq 69,57 \quad \text{(OK)}
\end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned}
V_n &= 0,6 x f_y x A_w \\
&= 0,6 x 25 x (510 x 14)
\end{aligned}$$

$$= 107100 \text{ kg}$$

Akibat beban truk (T)

$$\begin{aligned} V_u &= T + (\frac{1}{2} \cdot Q_D \cdot \lambda) \\ &= 29250 + (\frac{1}{2} \cdot 1608,5 \cdot 5) \\ &= 33271,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat UDL+KEL

$$\begin{aligned} V_u &= P_{KEL} + (\frac{1}{2} \cdot Q_{UDL} \cdot \lambda) \\ &= 19110 + (\frac{1}{2} \cdot 1454,65 \cdot 5) \\ &= 22746,62 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat UDL+KEL dan beban mati

$$\begin{aligned} V_u &= \left[P_{KEL} + \left(\frac{1}{2} \cdot Q_{UDL} \cdot \lambda \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot Q_D \cdot \lambda \right] \\ &= \left[19110 + \left(\frac{1}{2} \cdot 1454,65 \cdot 5 \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot 1608,5 \cdot 5 \right] \\ &= 26767,87 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{u_{\text{Max}}} = 33271,25 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 0.9 \times 107100 = 96390 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 96390 \text{ kg} > V_u = 33271,25 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

4.3.1.4.4. Kontrol Lendutan

Berdasarkan RSNI T-03 2005 Pasal 4.7.4. Syarat lendutan yaitu : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\lambda}{800} \\ \delta &= \frac{500}{800} \\ &= 0.008333333 \text{ m} \\ &= 8,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 seperti yang terlihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21, dapat diketahui lendutan yang terjadi oleh beban hidup tanpa faktor

- Akibat Beban Truk



Gambar 4.20 Hasil analisis SAP2000 Untuk Lendutan Yang Terjadi Akibat Beban Truk

- Akibat Beban Terbagi Rata



Gambar 4.21 Hasil analisis SAP2000 Untuk Lendutan Yang terjadi Akibat Beban Terbagi Rata

Check lendutan ijin:

$$\delta' \leq \delta$$

$$1,033 \text{ mm} \leq 8,3 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.3.1.5. Sambungan Gelagar

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_u &= 963,90 \times 1,2 \\ &= 1156,68 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pelat sambung siku 100.100.14:

t_p	= 14 mm	f_y	= 290 MPa
L	= 500 mm	f_u	= 500 MPa

Desain baut:

D_{baut}	= 16 mm	D_{prlmhn}	= 16 + 1,5 = 17,5
T_b	= 9500 kg	A_{baut}	= 200,96 mm ²
$f_{u_{\text{baut}}}$	= 500 Mpa	i_x	= 30,78 mm

4.3.1.5.1. Sambungan pada Gelagar Memanjang

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Geser (V}_{sf}\text{)} &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\ &= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 9500 \\ &= 75,14 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{V_{sf}} \\ &= \frac{1156,68}{75,14} \\ &= 15,39 \\ &= 18 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned}\text{Untuk jarak S} &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\ &= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 14 \\ &= 40 \text{ mm} \leq S \leq 210 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk jarak S}_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\ &= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 14 + 100) \\ &= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 156 \text{ mm} \\ &= 25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk jarak S}_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\ &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 14 \\ &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 168 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.3.1.5.2. Sambungan pada Gelagar Melintang

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 1$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Geser (V}_{sf}\text{)} &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\ &= 1.13 \times 0.35 \times 1 \times 1 \times 9500 \\ &= 37,57 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{V_{sf}} \\ &= \frac{1156,68}{37,57} \\ &= 30,78\end{aligned}$$

$$= 36 \text{ buah}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak } S &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\ &= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 14 \\ &= 40 \text{ mm} \leq S \leq 210 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak } S_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\ &= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 14 + 100) \\ &= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 100 \text{ mm} \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\ &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 14 \\ &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 168 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.3.1.5.3. Kontrol Pelat Penyambung

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned} A_{gv} &= (S \times 9 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= (50 \times 9 + 25) \times 14 \times 2 \\ &= 13300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= 50 \times 14 \times 2 \\ &= 1400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= ((S \times 9 + S_1) - 9,5 \times (d_b + 1,5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= ((50 \times 9 + 25) - 9,5 \times (16 + 1,5)) \times 14 \times 2 \\ &= 8465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nt} &= ((S_2 - 0,5 \times (d_b + 1,5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= ((50 - 0,5 \times (16 + 1,5)) \times 14 \times 2 \\ &= 1155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat geser rupture nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= 0,6 \times A_{nv} \times f_{ub} \\ &= 0,6 \times 8465 \times 500 \\ &= 2593500 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat tarik rupture nominal :

$$\begin{aligned}
 N_n &= A_{nt} \times f_{ub} \\
 &= 1155 \times 500 \\
 &= 577500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena N_n geser $>$ N_n tarik maka :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times A_{ev} \times f_u + A_{gt} \times f_y) \\
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times 1330 \times 500 + 1400 \times 290) \\
 \phi R_n &= 2249,625 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi R_n = 2249,625 \text{ kN} > V_u = 1156,68 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

- Kontrol Leleh

$$A_g = A_g \times \text{Jumlah Pelat Siku}$$

$$A_g = 7000 \times 2 = 14000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= 0.9 \times A_g \times f_y \\
 &= 0.9 \times 14000 \times 290 = 3654000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 3654 \text{ kN} > V_u = 1156,68 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

- Kontrol Putus

$$A_e = A_n \times U$$

$$= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L))$$

$$= ((7000 - 1 \times (16 + 1.5) \times 14) \times 2) + (1 - (30,78 / (50 \times 5)))$$

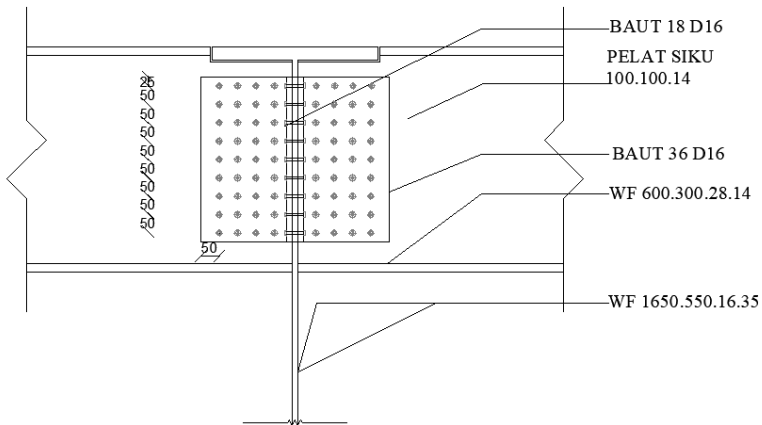
$$= 6510 \times 0.87688$$

$$= 5708,489 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= 0.75 \times A_e \times f_u \\
 &= 0.75 \times 5708,489 \times 500 = 2568819,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 2568,819 \text{ kN} > V_u = 1108,49 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$



Gambar 4. 24 Detail Sambungan Potongan Tampak Samping

4.3.2. Gelagar Melintang

4.3.2.1. Perencanaan Gelagar Melintang

Untuk perencanaan balok melintang ini menggunakan baja dengan mutu BJ41, dengan ketentuan sebagai berikut:

Tegangan leleh (f_y) = 250 MPa

Tegangan ultimate (f_u) = 410 kg/mm²

Modulus Elastisitas (E) = 200000 MPa

Perencanaan gelagar melintang menggunakan custom girder 1650.550.16.35 dengan data detail profil sebagai berikut:

$A = 637,8 \text{ cm}^2$	$i_x = 69,00 \text{ cm}$
$d = 1650 \text{ mm}$	$i_y = 12,3 \text{ cm}$
$b_f = 550 \text{ mm}$	$I_x = 3036717,85 \text{ cm}^4$
$t_w = 16 \text{ mm}$	$I_y = 97106.014 \text{ cm}^4$
$t_f = 35 \text{ mm}$	$Z_x = 41074,35 \text{ cm}^3$
$r = 0 \text{ mm}$	$Z_y = 23852,595 \text{ cm}^3$
$w = 500,673 \text{ kg/m}$	$S_x = 36808,701 \text{ cm}^3$
$h = 1580 \text{ mm}$	$S_y = 3531,127 \text{ cm}^3$

4.3.2.2. Pembebanan pada Gelagar Melintang Jembatan

- **Beban Mati**

Beban mati (sebelum komposit)

Pelat beton : $0,2 \times 2400 \times 5 \times 1,3 = 3120 \text{ kg/m}$

G.memajang : $\left(\frac{175 \times 5}{1,5} \right) \times 1,1 = 641,667 \text{ kg/m}$

Bekisting : $50 \times 5 \times 1,4 = 500 \text{ kg/m}$

Berat Sendiri: $500,673 \times 1.1 = 550,7403 \text{ kg/m}$

$Q_{D1} : 3120 + 641,667 + 500 + 552,7403$
 $= 4812,407 \text{ kg/mm}$

Beban mati (sesudah komposit)

Aspal : $0,05 \times 2200 \times 5 \times 2 = 1100 \text{ kg/m}$

$Q_{D2} : 1100 \text{ kg/m}$

- **Beban Hidup (sesudah komposit)**

Beban UDL + KEL

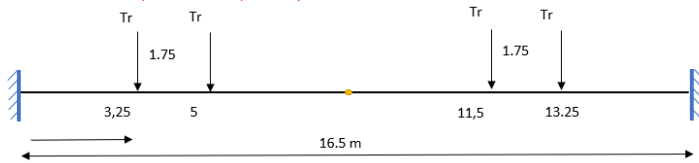
$P_{KEL} = (1 + DLA) \times P \times \gamma_{TD}^U$
 $= (1 + 0.3) \times 4900 \times 2$
 $= 12740 \text{ kg/m}$

$Q_{UDL} = q \times L \times \gamma_{TD}^U$
 $= 484,8837 \times 5 \times 2$
 $= 4848,837 \text{ kg/m}$

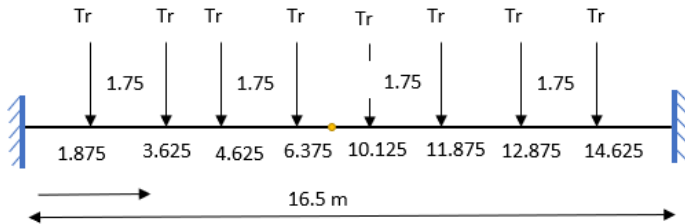
$Q_1 = Q_{UDL} + P_{KEL}$
 $= 12740 + 484,837 = 17588,837 \text{ kg/m}$

- **Beban Truk (T)**

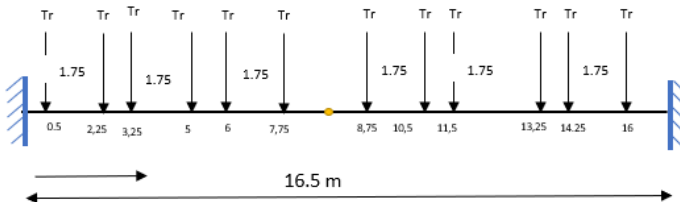
Sesuai kondisi nya pembebanan truk di modelkan dengan 3 tipe pembenanan agar mendapatkan beban truk yang paling kritis, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.25, Gambar 4.26 dan Gambar 4.27.



Gambar 4.25 Pembebanan Truk Tipe 1



Gambar 4.26 Pembebanan Truk Tipe 2



Gambar 4.27 Pembebanan Truk Tipe 3

$$\begin{aligned}
 T &= (1 + DLA) \times 112.5 \times \gamma_{TD}^U \\
 &= (1 + 0.3) \times 112.5 \times 2 \\
 &= 29250 \text{ kg (dari tipe 1)}
 \end{aligned}$$

4.3.2.3. Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen-momen akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{D1} &= \frac{Q_{D1} \times 16500}{2} \\
 &= 39702,358 \text{ kg} \\
 V_{D2} &= \frac{Q_{D2} \times 16500}{2} \\
 &= 9075 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$V_L = \frac{Q_L \times 16500}{2}$$

$$= 145107,91 \text{ kg}$$

$$V_{\text{Tipe1}} = (R_a \times 16,5) - Tr (2,357 + 4,714 + 10,67 + 12,964)$$

$$= 54431,59 \text{ kg}$$

$$V_{\text{Tipe2}} = (R_a \times 16,5) - Tr$$

$$(1.875+3.625+4.625+6.375+10.125+11.875+12.875+14.625)$$

$$= 117000 \text{ kg}$$

$$V_{\text{Tipe3}} = (R_a \times 16,5) - Tr (0,5 + 2,25 + 5 + 6 + 7,75 + 8,75 + 10,5 + 11,5 + 13,25 + 14,25 + 16)$$

$$= 175500 \text{ kg (menentukan)}$$

- Perhitungan momen akibat beban mati :

$$M_{D1} = 1/12 \times q_{\text{total}} \times L^2$$

$$= 109181,4831 \text{ kgm}$$

$$M_{D2} = 1/12 \times q_{\text{total}} \times L^2$$

$$= 37434,375 \text{ kgm}$$

$$M_{D\text{total}} = 109181,4831 + 37434,375$$

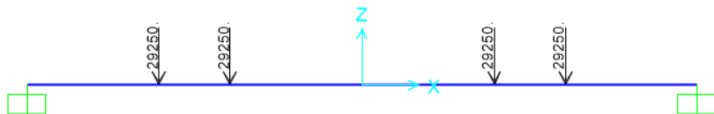
$$= 134137,733 \text{ kgm}$$

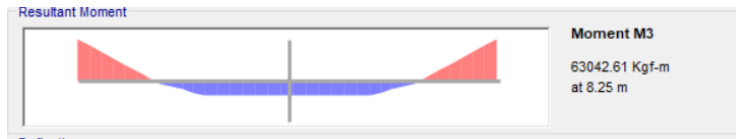
- Perhitungan momen akibat beban hidup :

$$ML = 1/12 \times Q1 \times L^2$$

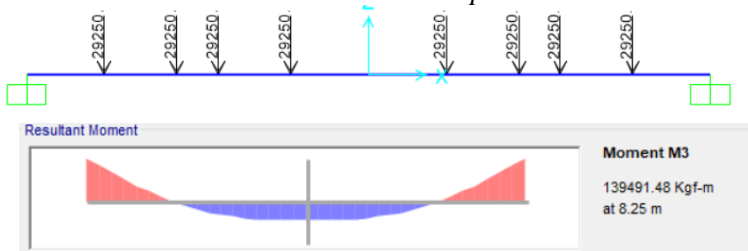
$$= 399046,744 \text{ kgm (menentukan)}$$

Untuk beban truk dimodelkan pada aplikasi SAP 2000 untuk mengetahui momennya, untuk lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 4.28, Gambar 4.29, dan Gambar 4.30.

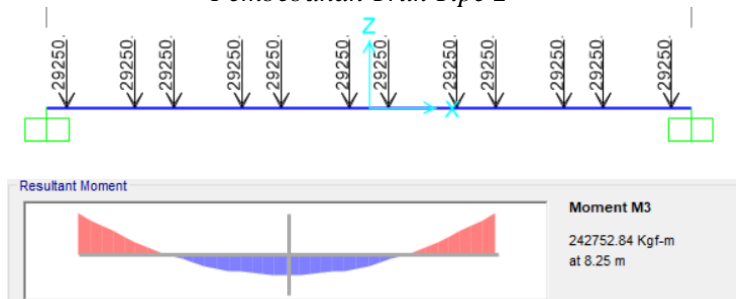




Gambar 4.28 Gambar Pembebanan dan Hasil Momen Akibat Pembebanan Truk Tipe 1



Gambar 4.29 Gambar Pembebanan dan Hasil Momen Akibat Pembebanan Truk Tipe 2



Gambar 4.30 Gambar Pembebanan dan Hasil Momen Akibat Pembebanan Truk Tipe 1

Beban total

$$M_U = 134137,733 + 399046,744 \\ = 533184,4772 \text{ kgm}$$

$$V_U = 39702,358 + 9075 + 175500 \\ = 224277,3575 \text{ kg}$$

4.3.2.4. Kontrol Profil Gelagar Melintang

4.3.2.4.1. Kuat Rencana Geser

Sebelum komposit

Kontrol penampang

$$h/tw = 1580/16 = 98,75 < 260$$

maka $K_n = 5$ ((SNI 1729-2015, G2-1)

$$K_n = 5$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} \quad \frac{h}{tw} &\leq 1.10 \sqrt{\frac{K_n \times E}{f_y}} \\ &= \frac{1580}{16} \leq 1.10 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{250}} \\ &= 0,910 \leq 69,5701 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\ &= 0.6 \times 250 \times (1580 \times 16) \\ &= 3792000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 2242774 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.9 \times 3792000 \\ &= 3412800 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 3412800 \text{ N} > V_u = 2242774 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

4.3.2.4.2. Kontrol Local Buckling

Sebelum komposit

Kontrol penampang:

$$\begin{aligned} \text{Sayap} \quad \frac{bf}{2tf} &\leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\ \frac{550}{2 \times 35} &\leq \frac{170}{\sqrt{250}} \quad 7,87 < 10,75 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} \quad \frac{h}{tw} &\leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \\ \frac{1580}{16} &\leq \frac{1680}{\sqrt{250}} \quad 98,75 < 106,25 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \text{ (SNI 1729-2015, F2-1)} \\ &= 41074,35 \times 2500 \\ &= 102685875 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.9 \times M_n \text{ (SNI 1729-2015, F1, 1)} \\
 &= 0.9 \times 10268587,5 \\
 &= 924172,875 \text{ kgmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 9241,73 \text{ kNm} > M_u = 5331,84 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.3.2.4.3. Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 150 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_P &= 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (SNI 1729-2015, F2-5)} \\
 &= 614,240 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 2500 - 700 = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 J &= \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ pelat badan } b = d - 2t_f = 1650 - 2(35) = 1580 \\
 &\text{ mm} \\
 &= \left(\frac{1}{3} \times 1580 \times 3,5^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 55 \times 1,6^3 \right) \\
 &= 2333,176667 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_w &= x \frac{(h')^2}{4}; h' = d - t_f = 1650 - 35 = 161,5 \text{ mm} \\
 &= 97106.014 \times \frac{161,5^2}{4} \\
 &= 633185833,4 \text{ cm}^6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{\frac{E G J A}{2}}; \text{ modulus geser (G)} = 800000 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= \frac{\pi}{36808,701} \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6 \times 8 \times 10^5 \times 2333,176667 \times 637,8}{2}} \\
 &= 83410,3631 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 \times \left(\frac{S_x}{G J} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_y} \\
 &= 4 \times \left(\frac{36808,701}{8 \times 10^5 \times 2333,176667} \right)^2 \times \frac{633185833,4}{97106.014} \\
 &= 1.0143 \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_R &= i y \times \left(\frac{x_1}{f_{y-f_r}} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{X_2 \cdot f_L}} \\
 &= 12,3 \times \left(\frac{83410,3631}{1800} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{1.014 \times 10^{-5} \times 1800^2}} \\
 &= 1493,126 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$L_P = 614,2405 \text{ cm} < L_B = 150 \text{ cm} < L_R = 1493,126 \text{ cm}$$

Karena $L_B < L_P < L_R$ maka termasuk bentang pendek. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = M_p$$

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 41074,35.250$$

$$= 102685875 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 1026858,75$$

$$= 924173 \text{ kgm}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 9241,73 \text{ kNm} > M_u = 5331,84 \text{ kNm (OK)}$$

4.3.2.4.4. Kapasitas Momen

Sesudah komposit

Lebar efektif pelat

Menurut RSNI T-03 2005 pasal 8.2.1. Lebar efektif lantai harus diambil sebagai nilai terkecil dari :

$$b_{\text{eff}} = \frac{1}{5} \times 16,5 = 3,3 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 5 \text{ m (jarak antar gelagar melintang)}$$

Lebar efektif pelat beton diambil yang terkecil yaitu 3300 mm

Menentukan garis netral

Diket :

$$f_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$A_s' = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$f_y' = 390 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 63780 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

Dimana :

$$C_1 = C \text{ Beton}$$

$$c_c = c \text{ beton}$$

$$c_s = c \text{ tulangan}$$

$$C_2 = C \text{ Profil baja}$$

Maka jarak garis netral didapat :

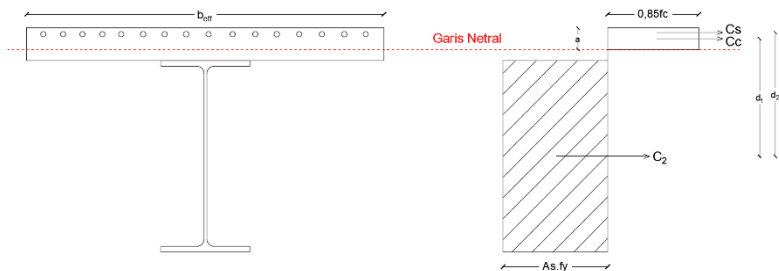
$$\begin{aligned} c_c &= 0,85 \cdot f_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 3300 \cdot 200 \\ &= 22440000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_s &= A_s' \cdot f_y' \\ &= 132,665.390 \\ &= 51739,35 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= c_s + c_c \\ &= 22491739,35 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= A_s \cdot f_y \\ &= 63780.250 \\ &= 15945000 \text{ N} \end{aligned}$$

$C_1 > C_2$, maka garis netral jatuh di beton



Gambar 4.31 Gambar diagram profil

Mencari jarak :

$$\begin{aligned} a &= \frac{C_2 - A_s' f_y'}{0,85 \cdot f_c \cdot b_{\text{eff}}} \\ &= \frac{15945000 - 132,665.390}{0,85 \cdot 40 \cdot 3300} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 141,651 \text{ mm} \\
 d1 &= (h+d) - (h/2) - (a/2) \\
 &= (1580+200) - (1580/2) - (141,651/2) \\
 &= 977,0006 \text{ mm} \\
 d2 &= (h+d)-(h/2)-\text{selimut beton} \\
 &= (1650+200)-(1650/2)-40 \\
 &= 985 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kemampuan balok komposit :

$$\begin{aligned}
 Mn &= (0,85.f_c.b_{\text{ef}}.a \times d_1) + (A_s.f_y \times d_2) \\
 &= (0,85.40.3300.95,998 \times 977,0006) + (63780 \times 250 \\
 &\quad \times 985) \\
 &= 39666029727 \text{ Nmm} \\
 \phi Mn &= 0,9.Mn \\
 &= 0,9. 39666029727 \text{ Nmm} \\
 &= 35699426755 \text{ Nmm} \\
 &= 35699,42675 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi Mn = 35699,43 \text{ kNm} > Mu = 5331,84 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

4.3.2.4.5. Perhitungan Kebutuhan *Shear Connector*

Shear Connector menggunakan tipe D-22 dengan A_s yaitu 388.122 mm^2 dengan mutu F_u yaitu 550 MPa . Untuk perhitungan kekuatan *Shear Connector* dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\
 &= 29725,41 \text{ MPa} \\
 A_s &= 388 \text{ mm}^2 \\
 Q_n &= 0.5 \times A_s \times \sqrt{f'_c \times E_c} \\
 &= 211541,535 \text{ N} \\
 R_g &= 1 \quad (\text{SNI 1729:2015}) \\
 R_p &= 0.75 \quad (\text{SNI 1729:2015}) \\
 Q_n' &= A_s \times F_u \times R_g \times R_p \\
 &= 160050 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$Q_n > Q_n' \quad (\text{Diambil } Q_n')$$

Perhitungan kebutuhan *Shear Connector*

$$V_u = A_s \cdot f_y$$

$$= 1594500 \text{ kg}$$

$$Q_n = 160050 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_u}{Q_n} = \frac{1594500}{160050} = 100 \text{ buah} \quad (\text{Setengah Bentang})$$

$$n = 100 \text{ buah} \times 2 = 200 \text{ buah} \quad (\text{Untuk Sepanjang Bentang})$$

$$\text{Jarak antar } \textit{Shear Connector} = \frac{16500}{200} = 82,5 \text{ mm}$$

4.3.2.4.6. Kontrol Lendutan

Berdasarkan RSNI T-03 2005 Pasal 4.7.4. Syarat lendutan yaitu : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\delta = \frac{\lambda}{800}$$

$$\delta = \frac{1650}{800}$$

$$= 0,020625 \text{ m}$$

$$= 20,625 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 seperti yang terlihat pada Gambar 4.32 dan Gambar 4.33, dapat diketahui lendutan yang terjadi oleh beban hidup tanpa faktor

- Akibat Beban Truk



Gambar 4.32 Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi Akibat Beban Truk

- Akibat Beban Terbagi Rata (BTR)



Gambar 4.33 Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi Akibat Beban Terbagi Rata

Check lendutan ijin :

$$\delta' \leq \delta$$

$$4,42 \text{ mm} \leq 20,625 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.3.2.5. Sambungan Gelagar

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_u &= 3412,80 \times 1,2 \\ &= 4095,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{Mu}{h} \times 1,15 \\ &= \frac{9241,73}{1,580} \times 1,2 \\ &= 7019,034 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pelat sambung sayap :

$$\begin{aligned} t_b &= 35 \text{ mm} & f_y &= 290 \text{ MPa} \\ L &= 850 \text{ mm} & f_u &= 500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pelat sambung badan :

$$\begin{aligned} t_b &= 35 \text{ mm} & f_y &= 290 \text{ MPa} \\ L &= 1050 \text{ mm} & f_u &= 500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Desain baut :

$$\begin{aligned} D_{\text{baut}} &= 30 \text{ mm} & D_{\text{prlmhn}} &= 30 + 1,5 = 30,5 \\ T_b &= 33500 \text{ kg} & A_{\text{baut}} &= 706,5 \text{ mm}^2 \\ f_{u_{\text{baut}}} &= 500 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

4.3.2.5.1. Sambungan pada Sayap Gelagar Melintang

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\text{Kuat Geser } (V_{sf}) = 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 33500 \\
 &= 264,985 \text{ kN} \\
 \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{T}{V_{sf}} \\
 &= \frac{7019,034}{264,985} \\
 &= 26,488 = 28 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\
 &= 2,5 \times 30 \leq S \leq 15 \times 35 \\
 &= 75 \text{ mm} \leq S \leq 525 \text{ mm} \\
 &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Untuk jarak } S_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\
 &= 1,5 \times 30 \leq S_1 \leq (4 \times 35 + 100) \\
 &= 45 \text{ mm} \leq S_1 \leq 240 \text{ mm} \\
 &= 75 \text{ mm} \\
 \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\
 &= 1,25 \times 30 \leq S_2 \leq 12 \times 35 \\
 &= 37,5 \text{ mm} \leq S_2 \leq 420 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3.2.5.2. Kontrol Pelat Penyambung Sayap

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= (S \times 8 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= (100 \times 8 + 75) \times 35 \times 2 \\
 &= 61250 \text{ mm}^2 \\
 A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= 50 \times 35 \times 2 \\
 &= 7000 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= ((S \times 10 + S_1) - 12,5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= ((100 \times 8 + 75) - 8,5 \times (30 + 1.5)) \times 35 \times 2 \\
 &= 42507,5 \text{ mm}^2 \\
 A_{nt} &= ((S_2 - 0.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= ((50 - 0.5 \times (30 + 1.5)) \times 35 \times 2 \\
 &= 2397,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat geser rupture nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= 0.6 \times A_{nv} \times f_{ub} \\ &= 0.6 \times 42507,5 \times 500 \\ &= 12752250 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat tarik rupture nominal :

$$\begin{aligned} N_n &= A_{nt} \times f_{ub} \\ &= 2397,5 \times 500 \\ &= 1198750 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena N_n geser $>$ N_n tarik maka :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times A_{ev} \times f_u + A_{gt} \times f_y) \\ \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times 61250 \times 500 + 7000 \times 290) \\ \phi R_n &= 11086687,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi R_n = 11086,69 \text{ kN} > V_u = 7019,034 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

- Kontrol Leleh

$$\begin{aligned} A_g &= A_g \times \text{Jumlah Pelat} \\ A_g &= 29750 \times 2 = 59500 \text{ mm}^2 \\ \phi N_n &= 0.9 \times A_g \times f_y \\ &= 0.9 \times 59500 \times 290 = 15529500 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 15529,5 \text{ kN} > V_u = 7019,034 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

- Kontrol Putus

$$\begin{aligned} A_e &= A_n \times U \\ &= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L)) \\ &= ((29750 - 1 \times (30 + 1.5) \times 35) \times 2) + (1 - (246 / (100 \times 8))) \\ &= 27545 \times 0,6925 \\ &= 19074,91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0.75 \times A_e \times f_u \\ &= 0.75 \times 19074,91 \times 500 = 8583710 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 8583,711 \text{ kN} > V_u = 7019,34 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

4.3.2.5.3. Sambungan pada Badan Gelagar Melintang

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser (V}_{sf}) &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\ &= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 33500 \\ &= 264,985 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{V_{sf}} \\ &= \frac{4095,36}{264,985} \\ &= 15,45 = 18 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S} &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\ &= 2,5 \times 30 \leq S \leq 15 \times 35 \\ &= 75 \text{ mm} \leq S \leq 525 \text{ mm} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S}_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\ &= 1,5 \times 30 \leq S_1 \leq (4 \times 35 + 100) \\ &= 45 \text{ mm} \leq S_1 \leq 240 \text{ mm} \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S}_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\ &= 1,25 \times 30 \leq S_2 \leq 12 \times 35 \\ &= 37,5 \text{ mm} \leq S_2 \leq 420 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.3.2.5.4. Kontrol Pelat Penyambung Badan

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned} A_{gv} &= (S \times 9 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\ &= (100 \times 9 + 75) \times 35 \times 2 \\ &= 68250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\ &= 50 \times 35 \times 2 \\ &= 7000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= ((S \times 9 + S_1) - 9,5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= ((100 \times 9 + 75) - 9,5 \times (30 + 1.5)) \times 35 \times 2 \\
 &= 47302,5 \text{ mm}^2 \\
 A_{nt} &= ((S_2 - 0.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= ((50 - 0.5 \times (30 + 1.5)) \times 35 \times 2 \\
 &= 2397,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat geser rupture nominal:

$$\begin{aligned}
 N_n &= 0.6 \times A_{nv} \times f_{ub} \\
 &= 0.6 \times 47302,5 \times 500 \\
 &= 14190750 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat tarik rupture nominal :

$$\begin{aligned}
 N_n &= A_{nt} \times f_{ub} \\
 &= 2397,5 \times 500 \\
 &= 1198750 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena N_n geser $>$ N_n tarik maka :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times A_{ev} \times f_u + A_{gt} \times f_y) \\
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times 68250 \times 500 + 7000 \times 290) \\
 \phi R_n &= 12165,5625 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi R_n = 12165,56 \text{ kN} > V_u = 4095,36 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Leleh

$$\begin{aligned}
 A_g &= A_g \times \text{Jumlah Pelat} \\
 A_g &= 36750 \times 2 = 73500 \text{ mm}^2 \\
 \phi N_n &= 0.9 \times A_g \times f_y \\
 &= 0.9 \times 73500 \times 290 = 19183500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 19183,5 \text{ kN} > V_u = 4095,36 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Putus

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n \times U \\
 &= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L)) \\
 &= ((36750 - 1 \times (30 + 1.5) \times 35) \times 2) + (1 - (145 / (100 \times 9)))
 \end{aligned}$$

$$= 34545 \times 0,8388$$

$$= 28978,42 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = 0.75 \times A_e \times f_u$$

$$= 0.75 \times 28979,42 \times 500 = 13040738 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 13040,74 \text{ kN} > V_u = 4095,36 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.3.2.5.5. Sambungan pada Box Girder

Sambungan gelagar melintang dengan box girder akan disambung dengan menggunakan las sudut dengan mutu F_{E100xx}

1. Momen pada Sambungan

$$M_u = 61316214,88 \text{ kgcm}$$

2. Gaya Geser pada Sambungan

$$V_u = 257918,96 \text{ kg}$$

Misal $t_e = 1$

$$A_{we} = 546,8 \text{ cm}^2$$

$$S_x = 21718,056 \text{ cm}^4$$

Akibat V_u

$$f_v = \frac{V_u}{A}$$

$$f_v = \frac{257918,96}{546,8} = 471,688 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat M_u

$$f_h = \frac{M_u}{S_x}$$

$$f_h = \frac{61316214,88}{21718,056} = 2823,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{f_h^2 + f_v^2}$$

$$f_{total} = \sqrt{471,688^2 + 2823,28^2} = 2862,414 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{nw} = 0.75 \times 0.6 \times 100 \times 70.3 \times 1 = 3163,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = \frac{f_{total}}{F_{nw}} = \frac{2862,414}{3163,5} = 0,9048 \text{ cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0,9048}{0.707} = 1,3083 \text{ cm}$$

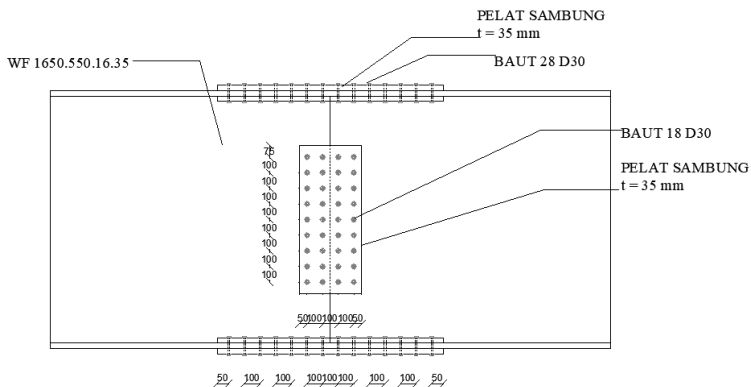
Syarat tebal kaki las

$$a_{\min} = 8 \text{ mm}$$

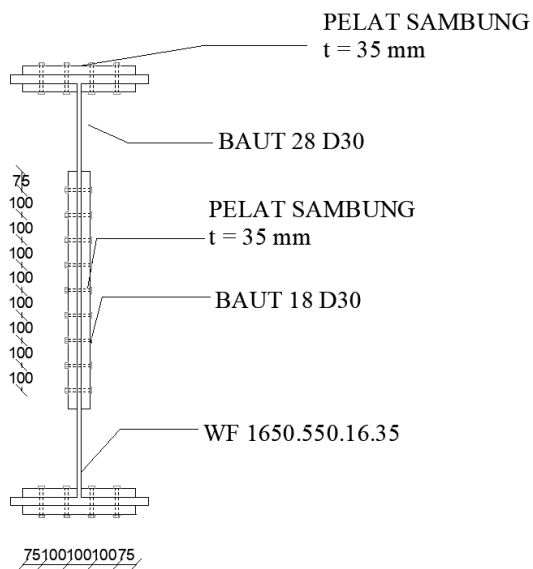
$$a_{eff} = 1,41 \frac{f_u}{f_{E100xx}} \times t_w = 1,41 \frac{4100}{100 \times 70.33} 16 = 1,31 \text{ cm}$$

$$a_{eff} = 0,707 \frac{f_u}{f_{E100xx}} \times t_f = 0,707 \frac{4100}{100 \times 70.33} \times 35 = 1,44 \text{ cm}$$

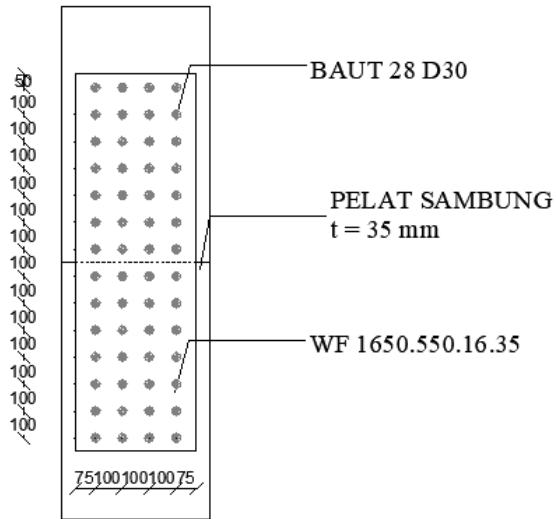
Digunakan las sudut dengan $a = 0,8 \text{ cm}$ untuk badan dan $a = 1,3 \text{ cm}$ untuk sayap



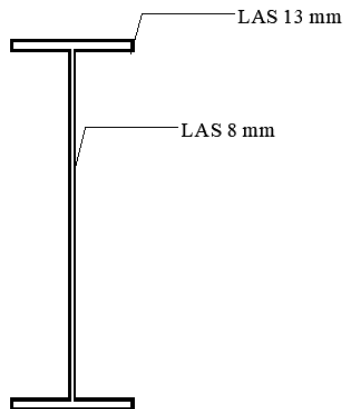
Gambar 4.34 Detail Sambungan Gelagar Melintang Ke Gelagar Melintang



Gambar 4.35 Detail Sambungan Gelagar Melintang Tampak Melintang



Gambar 4.36 Detail Sambungan Gelagar Melintang Tampak Atas.



Gambar 4.37 Detail Sambungan Las Gelagar Melintang.

4.3.3. Gelagar Kantilever

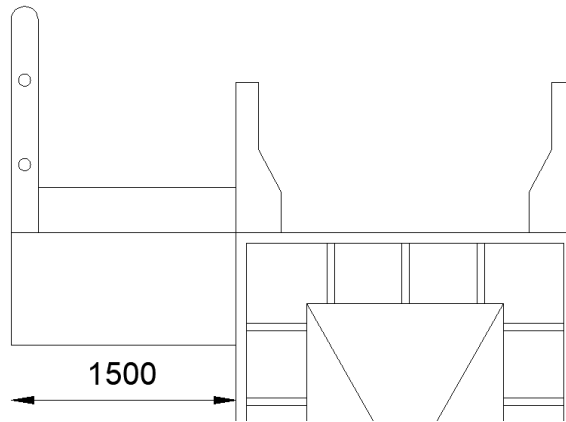
4.3.3.1. Perencanaan Gelagar Kantilever

Untuk perencanaan balok memanjang ini menggunakan baja dengan mutu BJ41 seperti pada **Gambar 4.32**, dengan ketentuan sebagai berikut:

Tegangan leleh (f_y) = 250 MPa

Tegangan ultimate (f_u) = 40 kg/mm²

Modulus Elastisitas (E) = 200000 MPa



Gambar 4.38 Gelagar kantilever jembatan

Perencanaan gelagar kantilever menggunakan profil WF 300.200.9.14 dengan data detail profil sebagai berikut :

$A = 83,36 \text{ cm}^2$	$i_x = 12,6 \text{ cm}$
$d = 298 \text{ mm}$	$i_y = 4,77 \text{ cm}$
$b_f = 201 \text{ mm}$	$I_x = 13300 \text{ mm}^4$
$t_w = 9 \text{ mm}$	$I_y = 1900 \text{ cm}^4$
$t_f = 14 \text{ mm}$	$Z_x = 963 \text{ cm}^3$
$r = 14 \text{ mm}$	$Z_y = 288 \text{ cm}^3$
$w = 65,4 \text{ kg/m}$	$h = 234 \text{ mm}$

4.3.3.2. Pembebanan Gelagar Kantilever

- **Beban Mati**
 - Pelat beton $= 200 \times 2400 \times 5 \times 1,3$
 $= 3900 \text{ kg/m}$
 - Tiang sandaran $= 360 \times (0.5+2.5+4.5) / 5$
 $= 1080 \text{ kg}$
 - Pipa sandaran $= 5,44 \times 5 \times 2$
 $= 54,4 \text{ kg}$
 - Bekisting $= 50 \times 5 \times 2$
 $= 500 \text{ kg/m}$
 - Berat Sendiri $= 65,4 \times 1.1$
 $= 71,94 \text{ kg/m}$
 - $Q_D = 3900 + 1080 + 54,4$
 $= 4471,94 \text{ kg/m}$
 - $Q_{\text{Tiang sandaran}} = 1080 \text{ kg}$
 - $Q_{\text{Pipa sandaran}} = 54,4 \text{ kg}$
- **Beban hidup**
 - $Q_L = q_{\text{pejalan kaki}} \times L \times \gamma_{MS}^U$
 $= 5 \times 10^{-4} \times 5 \times 1,5$
 $= 5000 \text{ kg/m}$

4.3.3.3. Perhitungan Momen

Perhitungan momen-momen akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_D &= (Q_D \times 1,5) + Q_{\text{Tiang sandaran}} + Q_{\text{Pipa sandaran}} \\ &= 7842,31 \text{ kg} \\ V_L &= Q_L \times 1,5 \\ &= 7500 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Beban Mati**
 - $M_D = (Q_D \cdot 1,5 \cdot 0,75) + (Q_{\text{Tiang sandaran}} \cdot 1,5) + (Q_{\text{Pipa sandaran}} \cdot 1,5)$
 $= 6732,532 \text{ kgm}$
- **Beban Hidup**
 - $M_L = (Q_L \times 1,5 \times 0,75) + (V_L \times 1,5)$

$$= 5625 \text{ kgm}$$

Beban total

$$M_U = 6732,532 + 5625$$

$$= 12357,53 \text{ kgm}$$

4.3.3.4. Kontrol Profil Gelagar Kantilever

4.3.3.4.1. Kontrol Local Buckling

Kontrol penampang:

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{201}{2 \times 14} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} \quad 7,178 < 10.75 \quad (\text{OK})$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{234}{9} \leq \frac{1680}{\sqrt{250}} \quad 26 < 106.25 \quad (\text{OK})$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$M_n = Z_x \cdot f_y \quad (\text{SNI 1729-2015, F2-1})$$

$$= 963 \times 2500$$

$$= 2407500 \text{ kgcm}$$

$$= 24075 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times M_n \text{ (SNI 1729-2015, F1, 1)}$$

$$= 0.9 \times 24075$$

$$= 21667,5 \text{ kgm}$$

Kontrol:

$$\phi M_n = 216,675 \text{ kNm} > M_u = 123,575 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.3.3.4.2. Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 150 \text{ cm}$$

$$L_P = 237,452 \text{ cm}$$

$$L_R = 816,357 \text{ cm}$$

$$L_P = 237,452 \text{ cm} < L_B = 150 \text{ cm} < L_R = 816,357 \text{ cm}$$

Karena $L_B < L_P < L_R$ maka termasuk bentang pendek. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut]:

$$M_n = M_p$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 963 \times 250 \\
 &= 2407500 \text{ kgcm} \\
 \phi M_n &= 0.9 \times 24075 \\
 &= 21668 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\phi M_n = 216,68 \text{ kNm} > M_u = 123,58 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.3.3.4.3. Kontrol Rencana Geser

Kontrol penampang :

$$\begin{aligned}
 \text{Badan : } \frac{h}{w} &\leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n \cdot E}{F_y}} ; K_n = 5 \\
 \frac{234}{9} &\leq 1,10 \sqrt{\frac{5 \cdot 200000}{250}} \\
 26 &\leq 69.57 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\
 &= 0.6 \times 25 \times (234 \times 9) \\
 &= 315900 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Akibat pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 V_u &= Q_{\text{pejalan kaki}} \times 5 \\
 &= 5000 \times 5 \\
 &= 25000 \text{ kg} \\
 \phi V_n &= 0.9 \times 315900 = 28431 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\phi V_n = 284,31 \text{ kN} > V_u = 250 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.3.3.4.4. Kontrol Lendutan

Berdasarkan RSNI T-03 2005 Pasal 4.7.4. Syarat lendutan yaitu : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\delta = \frac{\lambda}{300}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{1500}{300} \\ &= 0.005 \text{ m} \\ &= 5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Check lendutan ijin:



Gambar 4.39 Hasil Analisis SAP2000 Untuk Lendutan Yang Terjadi Pada Gelagar Kantilever

$$\begin{aligned}\delta' &\leq \delta \\ 1,494 \text{ mm} &\leq 5 \text{ mm} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

4.3.3.5. Sambungan Gelagar Kantilever

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_u &= 284,31 \times 1,2 \\ &= 341,172 \text{ kN} \\ T &= \frac{Mu}{h} \\ &= \frac{216,68}{0,234} \times 1,2 \\ &= 1111,154 \text{ kN}\end{aligned}$$

Pelat sambung sayap dengan spesifikasi:

$$\begin{array}{ll} t_p &= 14 \text{ mm} & f_y &= 290 \text{ MPa} \\ L &= 450 \text{ mm} & f_u &= 500 \text{ MPa} \end{array}$$

Pelat sambung sayap dengan spesifikasi:

$$\begin{array}{ll} t_p &= 14 \text{ mm} & f_y &= 290 \text{ MPa} \\ L &= 125 \text{ mm} & f_u &= 500 \text{ MPa} \end{array}$$

Desain baut:

$$\begin{array}{ll} D_{\text{baut}} &= 16 \text{ mm} & D_{\text{prlmhn}} &= 16 + 1,5 = 17,5 \\ T_b &= 9500 \text{ kg} & A_{\text{baut}} &= 200,96 \text{ mm}^2 \\ f_{u_{\text{baut}}} &= 500 \text{ Mpa} \end{array}$$

4.3.3.5.1. Sambungan pada Sayap

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser (V}_{sf}\text{)} &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\ &= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 9500 \\ &= 75,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{V_{sf}} \\ &= \frac{1064,855}{75,14} \\ &= 14,787 \\ &= 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S} &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\ &= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 14 \\ &= 40 \text{ mm} \leq S \leq 210 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S}_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\ &= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 16 + 100) \\ &= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 126 \text{ mm} \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S}_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\ &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 16 \\ &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 168 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.3.3.5.2. Kontrol Pelat Penyambung

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned} A_{gv} &= (S \times 8 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\ &= (50 \times 4 + 75) \times 14 \times 2 \\ &= 6300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= 25 \times 14 \times 2 \\
 &= 1400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= ((S \times 4 + S_1) - 8,5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= ((50 \times 4 + 25) - 4,5 \times (16 + 1.5)) \times 14 \times 2 \\
 &= 4095 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= ((S_2 - 0.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= ((25 - 0.5 \times (16 + 1.5)) \times 14 \times 2 \\
 &= 1155 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat geser rupture nominal:

$$\begin{aligned}
 N_n &= 0.6 \times A_{nv} \times f_{ub} \\
 &= 0.6 \times 4095 \times 500 \\
 &= 1228500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat tarik rupture nominal :

$$\begin{aligned}
 N_n &= A_{nt} \times f_{ub} \\
 &= 1155 \times 500 \\
 &= 577500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena N_n geser $>$ N_n tarik maka :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times A_{nv} \times f_u + A_{gt} \times f_y) \\
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times 4095 \times 500 + 1400 \times 290) \\
 \phi R_n &= 1225875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi R_n = 1225,875 \text{ kN} > V_u = 1111,154 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Leleh

$$\begin{aligned}
 A_g &= A_g \times \text{Jumlah Pelat} \\
 A_g &= 6300 \times 1 = 12600 \text{ mm}^2 \\
 \phi N_n &= 0.9 \times A_g \times f_y \\
 &= 0.9 \times 12600 \times 290 \\
 &= 3288600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 3288,6 \text{ kN} > V_u = 1111,154 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Putus

$$\begin{aligned}
A_e &= A_n \times U \\
&= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L)) \\
&= ((6300 - 1 \times (16 + 1.5) \times 14) \times 2) + (1 - (30,78 / (50 \times 4))) \\
&= 5810 \times 0,8461 \\
&= 4915,841 \text{ mm}^2 \\
\phi N_n &= 0.75 \times A_e \times f_u \\
&= 0.75 \times 4915,841 \times 500 \\
&= 2212128,45 \text{ N}
\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 2212,128 \text{ kN} > V_u = 1111,154 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.3.3.5.3. Sambungan pada badan

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kuat Geser (V}_{sf}\text{)} &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\
&= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 9500 \\
&= 75,145 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{V_u}{V_{sf}} \\
&= \frac{341,172}{75,145} \\
&= 4,54 \\
&= 6 \text{ buah}
\end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned}
\text{Untuk jarak S} &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\
&= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 14 \\
&= 40 \text{ mm} \leq S \leq 210 \text{ mm} \\
&= 75 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Untuk jarak S}_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\
&= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 14 + 100) \\
&= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 156 \text{ mm} \\
&= 25 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{Untuk jarak S}_2 = 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 14 \\
 &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 168 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3.3.5.4. Kontrol Pelat Penyambung

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= (S \times 3 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= (75 \times 3 + 25) \times 14 \times 2 \\
 &= 7000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= 50 \times 14 \times 2 \\
 &= 1400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= ((S \times 3 + S_1) - 3,5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat} \\
 &= ((75 \times 3 + 25) - 3,5 \times (16 + 1.5)) \times 14 \times 2 \\
 &= 5285 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= ((S_2 - 0.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= ((50 - 0.5 \times (16 + 1.5)) \times 14 \times 2 \\
 &= 1155 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat geser rupture nominal:

$$\begin{aligned}
 N_n &= 0.6 \times A_{nv} \times f_{ub} \\
 &= 0.6 \times 5285 \times 500 \\
 &= 1585500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat tarik rupture nominal :

$$\begin{aligned}
 N_n &= A_{nt} \times f_{ub} \\
 &= 1155 \times 500 \\
 &= 577500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena $N_n \text{ geser} > N_n \text{ tarik}$ maka :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times A_{nv} \times f_u + A_{gt} \times f_y) \\
 \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times 5285 \times 500 + 1400 \times 290) \\
 \phi R_n &= 1493625 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi R_n = 1493,625 \text{ kN} > V_u = 341,172 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Leleh

$$A_g = A_g \times \text{Jumlah Pelat}$$

$$A_g = 2800 \times 2 = 5600 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi N_n &= 0.9 \times A_g \times f_y \\ &= 0.9 \times 5600 \times 290 \\ &= 1461600 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 1461,6 \text{ kN} > V_u = 341,172 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Putus

$$A_e = A_n \times U$$

$$\begin{aligned}&= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L)) \\ &= ((2800 - 1 \times (16 + 1.5) \times 16) \times 2) + (1 - (30,78 / (50 \times 3))) \\ &= 2310 \times 0,8632 \\ &= 897296,4 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi N_n &= 0,75 \times A_e \times f_u \\ &= 0,75 \times 897,296 \times 500 \\ &= 897,29 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 897,29 \text{ kN} > V_u = 341,172 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.3.3.5.5. Sambungan pada Box Girder

Sambungan gelagar melintang dengan box girder akan disambung dengan menggunakan las sudut dengan mutu F_{E100xx}

1. Momen pada Sambungan

$$M_u = 1421116,238 \text{ kgcm}$$

2. Gaya Geser pada Sambungan

$$V_u = 17643,66 \text{ kg}$$

Misal $t_e = 1$

$$A_{we} = 169,4 \text{ cm}^2$$

$$S_x = 1556,620 \text{ cm}^3$$

Akibat V_u

$$fv = \frac{V_u}{A}$$

$$fv = \frac{17643,66}{169,4} = 104,154 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat Mu

$$fh = \frac{Mu}{S_x}$$

$$fh = \frac{1421116,238}{1556,620} = 912,949 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{fh^2 + fv^2}$$

$$f_{total} = \sqrt{912,949^2 + 104,154^2} = 918,872 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{nw} = 0.75 \times 0.6 \times 100 \times 70.3 \times 1 = 3163,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$te = \frac{f_{total}}{F_{nw}} = \frac{918,872}{3163,5} = 0,2904 \text{ cm}$$

$$a = \frac{te}{0.707} = \frac{0,29,04}{0.707} = 0,411 \text{ cm}$$

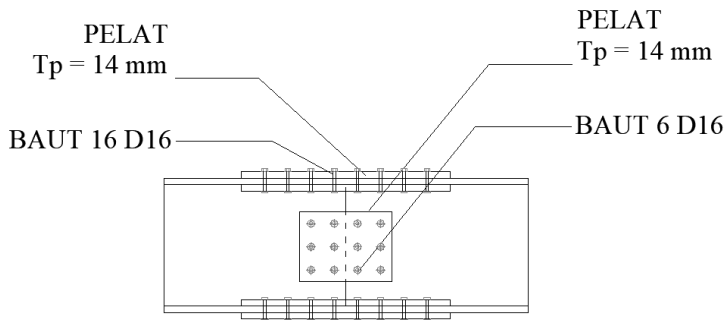
Syarat tebal kaki las

$$a_{min} = 8 \text{ mm}$$

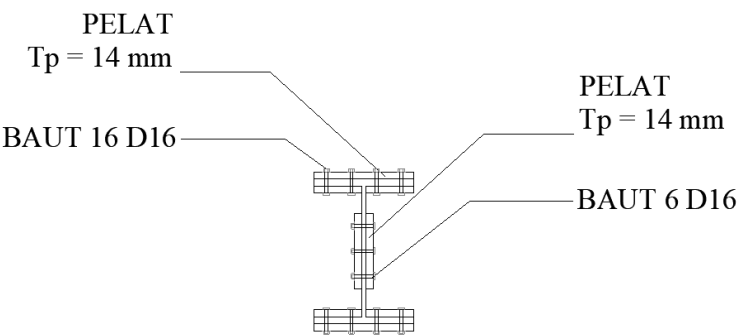
$$aeff = 1,41 \frac{fu}{f_{E100xx}} \times w = 1,41 \frac{4100}{100 \times 70.33} \times 8 = 0,735 \text{ cm}$$

$$aeff = 0,707 \frac{fu}{f_{E100xx}} \times tf = 1,41 \frac{4100}{100 \times 70.33} \times 14 = 0,57 \text{ cm}$$

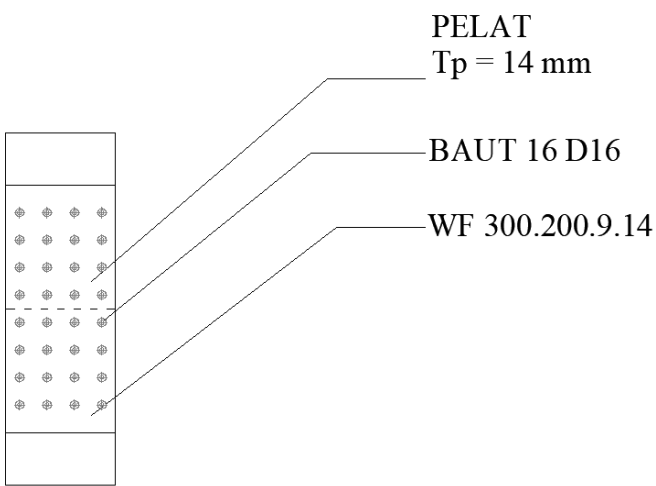
Digunakan las sudut dengan a = 0,45 cm untuk badan dan a = 0,5 cm untuk sayap



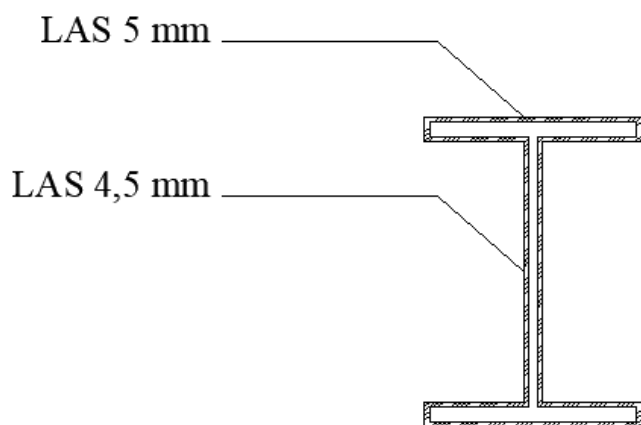
Gambar 4.40 Detail Sambungan Gelagar Kantilever



Gambar 4.41 Detail Sambungan Potongan Melintang



Gambar 4.42 Detail Tampak Atas Sambungan Gelagar Kantilever



Gambar 4.43 Detail Las Gelagar Kantilever

4.4. Permodelan dan Analisa Struktur

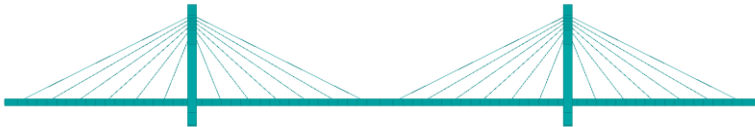
Pada bab ini akan dibahas gaya-gaya yang terjadi pada struktur gelagar utama (main girder) berupa twin box girder, kabel, dan *pylon*. Dalam analisa struktur *cable stayed* ini digunakan program bantu MIDAS CIVIL V2011. Beban yang bekerja berupa beban statik (berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin), dinamik (beban gempa dengan menggunakan analisa *response spectrum*), dan *staging analysis* (beban yang bekerja saat pelaksanaan atau pendirian jembatan).

4.4.1. Permodelah Struktur

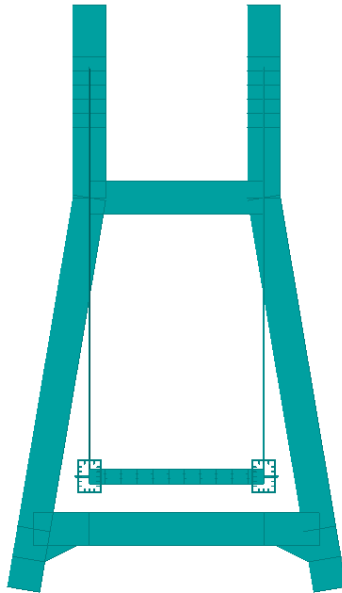
Permodelan struktur jembatan menggunakan permodelan dengan tiga dimensi, untuk lebih jelasnya seperti berikut:



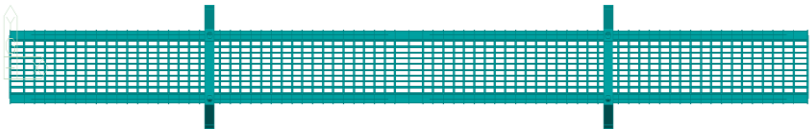
Gambar 4.44 Tampak Perspektif Jembatan



Gambar 4.45 Tampak Memanjang Jembatan



Gambar 4.46 Tampak Melintang Jembatan



Gambar 4.47 Tampak Atas Jembatan



Gambar 4.48 Tampak Melintang Dek Jembatan

4.4.2. Analisa Statis

4.4.2.1. Analisa Pembebanan Statis

Beberapa beban yang termasuk beban statik antara lain beban tetap, beban hidup, dan beban angin. Untuk beban

sendiri struktur akan hitung secara otomatis oleh program bantu MIDAS.

1. Beban Mati Struktur (MS)

- Gelagar memanjang
Berat sendiri = 175 kg/m
- Gelagar melintang
Berat sendiri = 500,67 kg/m
- Gelagar kantilever
Berat sendiri = 65,4 kg/m

2. Beban Mati Perkerasan dan Utilitas (MA)

- Gelagar memanjang
Pelat beton = 720 kg/m
Aspal = 165 kg/m
Bekisting = 70 kg/m
- Gelagar kantilever
Berat beton = 3000 kg/m
Pipa sandaran = 49.45 kg
Tiang sandaran = 830.77 kg
Bekisting = 250 kg/m

3. Beban Jalur (TD)

- Gelagar memanjang
BTR = 727,33 kg/m
BGT = 6370 kg/m
- Gelagar melintang
BGT = 6370 kg/m

4. Gaya Akibat Rem (TB)

Untuk gaya rem, sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.7 gaya yang diambil terbesar dari :

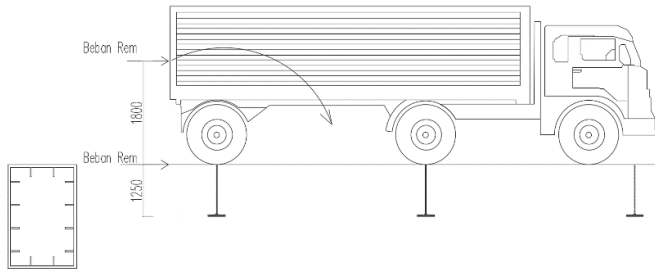
- 25% dari berat gandar truk desain
TB = 25 % . (T . 2roda) . tinggi
= 25 % . (112,5kN . 2) . 1,8m

$$= 101,25 \text{ kNm}$$

- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

$$\begin{aligned} \text{TB} &= 5\% \cdot (\text{beban truk} + \text{BTR}) \cdot \text{tinggi} \\ &= 5\% \cdot (500 \text{ kN} + 1454,7 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m}) \cdot 1,8 \text{ m} \\ &= 28,637 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dari hasil diatas akan diambil nilai terbesar dari gaya rem sebesar 101,25 kNm



Gambar 4.49 Ilustrasi Beban Rem Berupa Gaya Horizontal Dan Momen Torsi

5. Beban Pejalan Kaki (TP)

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.9 semua komponen trotoar lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa

$$\begin{aligned} W_{\text{pejalan kaki}} &= 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} \\ &= 25 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

6. Beban Angin (E_w)

- Beban angin struktural (E_{ws})

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 9.6.1, tekanan angin horizontal untuk bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air maka kecepatan angin rencana, V_{DZ} , sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Tabel 4.6 Nilai V_0 dan Z_0 Untuk Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

$$\begin{aligned}
 V_{DZ} &= 2,5 \cdot 17,6 \left(\frac{90}{90} \right) \ln \left(\frac{22000}{1000} \right) \\
 &= 136.005 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui kecepatan angin yang bekerja, dapat ditentukan beban angin pada struktur dimana tekanan angin rencana dalam MPa dengan menggunakan persamaan:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Tabel 4.7 Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

$$\begin{aligned}
 P_D &= 0,0024 \left(\frac{136,005}{90} \right)^2 \\
 &= 0.00295 \text{ MPa} \\
 &= 2.95 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban pada struktur akan diterima pada gelegar utama yang berupa *box girder* sehingga dikalikan dengan tinggi penampang *box girder*.

$$\begin{aligned}
 P_D &= 2,95 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \\
 &= 10,325 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

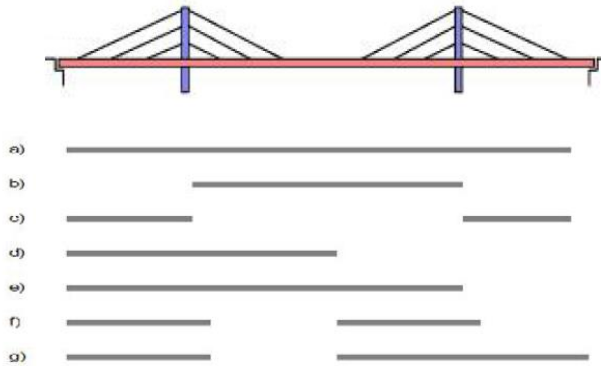
Kontrol,

$$P_D > P_{Dmin}$$

$$10,325 \text{ kN/m} > 2.95 \text{ kN/m (SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.1)}$$

- Beban angin kendaraan (E_{W1})

Untuk *Load Factor* masing-masing beban mengacu pada SNI 1725-2016, sedangkan untuk konfigurasi pembebanan LL mengacu pada Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel” yang dapat dilihat pada Gambar 4.51.



Gambar 4.51 Konfigurasi beban hidup

Tabel 4.9 Kombinasi pembebanan statik

Kuat I	Tipe a	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe b	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe c	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe d	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe e	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe f	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe g	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
Kuat III		$1,1MS + 2MA + 1,4EWs$			
Daya Layan I	Tipe a	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWI$			
	Tipe b	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWI$			
	Tipe c	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWI$			
	Tipe d	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWI$			
	Tipe e	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWI$			
	Tipe f	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWI$			
	Tipe g	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWI$			
Daya Layan II	Tipe a	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe b	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe c	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe d	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe e	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe f	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe g	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
Daya Layan IV		$1MS + 1MA + 0,7EWs$			

4.4.2.3. Hasil Analisa Statis

Tabel 4.10 Hasil Analisa Struktur Static Box Girder

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Kuat I	Tipe a	21322.55	1104.97	5635.12	38412.07	107824.17	5129.25
	Tipe b	22576.25	550.67	4870.09	16587	104822.47	2646.75
	Tipe c	21321.69	1083.62	5636.01	37992.44	75398.67	5049.68
	Tipe d	21825.38	745.91	5798.57	13176.08	161559.09	3475.03
	Tipe e	21322.56	1107.67	5635.11	38446.13	131731.87	5136.96
	Tipe f	21825.32	906.73	5009.76	18094.21	104720.55	4268.07
	Tipe g	21825.34	902.96	5252.96	17817.44	128628.3	4255.65
Kuat III	-	20278.26	284.62	3206.19	2215.11	69670.13	1146.21
Daya Layan I	Tipe a	14930.64	386.88	2740.83	9573.41	58338.37	1715.41
	Tipe b	15244.06	230.34	2674.58	4715.17	57587.95	1036.65
	Tipe c	14930.42	381.55	2730.66	9468.5	50232	1695.52
	Tipe d	15056.34	278.78	2734.07	3461.99	71772.1	1237.76
	Tipe e	14930.64	387.56	2756.86	9581.93	64315.3	1717.34
	Tipe f	15056.33	318.99	2731.79	3937.94	57562.47	1436.02
	Tipe g	15056.33	318.04	2755.43	3868.75	63539.41	1432.91
Daya Layan II	Tipe a	14811.97	708.26	3765.43	25012.78	73024.49	3280.58
	Tipe b	15626.88	345.22	3305.58	10648.36	71073.38	1651.74
	Tipe c	14811.41	694.38	3766.01	24740.02	51947.91	3228.87
	Tipe d	15138.81	470.53	3916.67	8503.12	107952.18	2190.19
	Tipe e	14811.98	710.01	3765.42	25034.92	88564.49	3285.6
	Tipe f	15138.77	575.07	3396.37	11909.24	71007.13	2705.67
	Tipe g	15138.78	572.62	3587.53	11729.34	86547.17	2697.6
Daya Layan IV	-	13967.17	168.41	2210.18	1262.35	48046.22	682.94

Tabel 4.11 Hasil Analisa Strktur Static Pylon

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Kuat I	Tipe a	85680.25	8266.06	4792.52	23948.6	221869.37	65101.72
	Tipe b	88406.65	9826.28	4813.13	21844.65	222284.18	76450.31
	Tipe c	83371.93	10296.68	3061.88	16284.12	150138.49	79612.45
	Tipe d	88394.93	8185.68	5389.88	21768.92	245285.54	64643.91
	Tipe e	86063.49	8668.31	4944.29	24694.28	211377.71	68058.07
	Tipe f	91452.33	11137.95	4669.46	21668.19	216877.25	85842.16
	Tipe g	92267.7	11137.96	4424.18	22413.86	197152.06	85842.14
Kuat III	-	68377.11	6185.42	2680.13	13483.74	138722.05	49262.87
Daya Layan I	Tipe a	58136.19	5249.03	2498.48	12566.89	122868.9	41805.63
	Tipe b	58822.79	5638.63	2507.5	12042.65	122972.61	44649.66
	Tipe c	57559.11	5756.68	2065.82	10650.77	104936.18	45433.31
	Tipe d	58814.86	5228.94	2651.69	11718.22	128722.94	41698.06
	Tipe e	58234.79	5349.59	2342.34	12753.31	117937.6	42551.38
	Tipe f	59582	5965.84	2471.59	11998.54	121620.87	46996
	Tipe g	59785.84	5965.84	2315.45	12184.96	116689.57	46995.99
Daya Layan II	Tipe a	64468.4	6028.55	3287.64	16637.4	154881.55	47721.26
	Tipe b	66241.75	7042.63	3311.09	15274.38	155151.18	55099.84
	Tipe c	62968	7348.45	2162.72	11655.48	108256.48	57153.23
	Tipe d	66232.95	5976.35	3685.98	14761.93	170102.06	47425.68
	Tipe e	64718.39	6290.06	3292.67	17122.09	142060.17	49644.31
	Tipe f	68221.14	7895	3217.71	15159.69	151636.67	61203.79
	Tipe g	68751.12	7895	2954.6	15644.37	138815.3	61203.77
Daya Layan IV	-	53039.37	4660.11	1934.29	9804.93	100450.04	37296.94

Tabel 4.12 Hasil Analisa Struktur Static Upper Cross Beam

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Kuat I	Tipe a	15273.76	3159.83	6907.47	6676.1	27937.05	13482.28
	Tipe b	18080.63	2810.83	8888.95	5959.73	34650.94	12081.19
	Tipe c	18945.02	2278.55	9218.07	4471.28	37062.47	9106.88
	Tipe d	15183.62	2553.09	6831.92	6768.91	27225.01	10961.66
	Tipe e	16142.47	3298.14	7474	6868.72	29583.01	13945.29
	Tipe f	20250.62	2801.72	10443.34	5948.13	40538.13	12079.05
	Tipe g	20250.62	2940.04	10443.34	6140.75	40553.79	12542.05
Kuat III	-	12147.84	1800.14	5078.9	3349.31	19662.6	7086.37
Daya Layan I	Tipe a	10497.1	1784.46	4377.88	3326.49	17160.72	7108.37
	Tipe b	11198.81	1697.21	4869.83	3147.39	18839.19	6758.09
	Tipe c	11414.91	1564.14	4955.53	2775.28	19442.07	6014.52
	Tipe d	10474.56	1632.77	4360.95	3177.88	17001.68	6478.21
	Tipe e	10714.27	1819.04	4521.47	3374.64	17591.18	7224.12
	Tipe f	11740.19	1694.93	5258.43	3144.5	20310.99	6757.56
	Tipe g	11740.19	1729.51	5258.43	3192.65	20314.9	6873.31
Daya Layan II	Tipe a	11664.8	2303.55	5067.7	4572.95	20322.88	9551.72
	Tipe b	13489.27	2076.7	6355.66	4107.31	24686.91	8641.01
	Tipe c	14051.11	1730.72	6569.59	3139.82	26254.4	6707.7
	Tipe d	11606.21	1909.17	5019.95	4563.05	19864.91	7913.31
	Tipe e	12229.46	2393.46	5437.31	4698.15	21397.61	9852.67
	Tipe f	14899.34	2070.78	7366.01	4099.77	28513.58	8639.61
	Tipe g	14899.34	2160.69	7366.01	4224.98	28523.76	8940.57
Daya Layan IV	-	9605.85	1412.09	3867.39	2384.46	14899.22	5358.77

Tabel 4.13 Hasil Analisa Struktur Static Lower Cross Beam

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Kuat I	Tipe a	15273.76	3159.83	6907.47	6676.1	27937.05	13482.28
	Tipe b	18080.63	2810.83	8888.95	5959.73	34650.94	12081.19
	Tipe c	18945.02	2278.55	9218.07	4471.28	37062.47	9106.88
	Tipe d	15183.62	2553.09	6831.92	6768.91	27225.01	10961.66
	Tipe e	16142.47	3298.14	7474	6868.72	29583.01	13945.29
	Tipe f	20250.62	2801.72	10443.34	5948.13	40538.13	12079.05
	Tipe g	20250.62	2940.04	10443.34	6140.75	40553.79	12542.05
Kuat III	Tipe a	12147.84	1800.14	5078.9	3349.31	19662.6	7086.37
Daya Layan I	Tipe a	10497.1	1784.46	4377.88	3326.49	17160.72	7108.37
	Tipe b	11198.81	1697.21	4869.83	3147.39	18839.19	6758.09
	Tipe c	11414.91	1564.14	4955.53	2775.28	19442.07	6014.52
	Tipe d	10474.56	1632.77	4360.95	3177.88	17001.68	6478.21
	Tipe e	10714.27	1819.04	4521.47	3374.64	17591.18	7224.12
	Tipe f	11740.19	1694.93	5258.43	3144.5	20310.99	6757.56
	Tipe g	11740.19	1729.51	5258.43	3192.65	20314.9	6873.31
Daya Layan II	Tipe a	11664.8	2303.55	5067.7	4572.95	20322.88	9551.72
	Tipe b	13489.27	2076.7	6355.66	4107.31	24686.91	8641.01
	Tipe c	14051.11	1730.72	6569.59	3139.82	26254.4	6707.7
	Tipe d	11606.21	1909.17	5019.95	4563.05	19864.91	7913.31
	Tipe e	12229.46	2393.46	5437.31	4698.15	21397.61	9852.67
	Tipe f	14899.34	2070.78	7366.01	4099.77	28513.58	8639.61
	Tipe g	14899.34	2160.69	7366.01	4224.98	28523.76	8940.57
Daya Layan IV	Tipe a	9605.85	1412.09	3867.39	2384.46	14899.22	5358.77

Tabel 4.14 Hasil Analisa Struktur Static Stroot

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
Kuat I	Tipe a	21605.69	455.78	1449.35	4364.04	3935	5663.18
	Tipe b	25521.72	358.12	1449.35	4384.96	4714.73	5445.16
	Tipe c	26986.05	421	1449.35	2902.57	4715.78	4441.78
	Tipe d	17470.55	398.26	1449.35	4799.51	3939.32	5783.01
	Tipe e	21613.24	455.78	1449.35	4334.12	4088.84	5842.72
	Tipe f	21516.45	434.36	1449.35	4255.26	5409.82	5459.86
	Tipe g	22882.47	434.36	1449.35	3880.35	5432.52	5403.95
Kuat III	-	16848.26	435.69	930.9	2696.64	2535.37	4598.7
Daya Layan I	Tipe a	14264.48	359.82	784.88	2394.62	2187.09	3815.36
	Tipe b	15245.52	333.67	784.88	2399.85	2383.84	3760.85
	Tipe c	13232.73	345.44	784.88	2503.49	2194.17	3845.31
	Tipe d	13232.73	345.44	784.88	2503.49	2194.17	3845.31
	Tipe e	14268.4	359.82	784.88	2288.62	2231.55	3801.38
	Tipe f	14242.17	354.47	784.88	2367.43	2559.44	3764.53
	Tipe g	14583.68	354.47	784.88	2261.42	2565.12	3750.55
Daya Layan II	Tipe a	16045.67	395.72	981.95	3042.84	2719.67	4329.65
	Tipe b	18591.41	329.93	981.95	3056.44	3226.02	4187.94
	Tipe c	19542.9	373.11	981.95	2092.89	3227.17	3535.75
	Tipe d	13358.15	358.33	981.95	3325.9	2723.91	4407.54
	Tipe e	16050.9	395.72	981.95	2884.62	2821.1	4293.32
	Tipe f	15987.66	381.8	981.95	2972.14	3679.16	4197.5
	Tipe g	16875.58	381.8	981.95	2696.53	3693.91	4161.16
Daya Layan IV	-	12915.56	391.28	641.74	1953.23	1801.43	3665.14

4.4.3. Analisa Dinamis

4.4.3.1. Analisa Pembebanan Dinamis

Untuk pembebanan gempa pada desain jembatan ini digunakan metode *response spectrum* dengan program bantu MIDAS/Civil. Berdasarkan RSNI 2833-201X, dapat dilihat posisi kota Pontianak dalam peta gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun memiliki data sebagai berikut:

- Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) : 0,005
- Percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S_s) : 0,013
- Percepatan 1 detik di batuan dasar (S₁) : 0,02

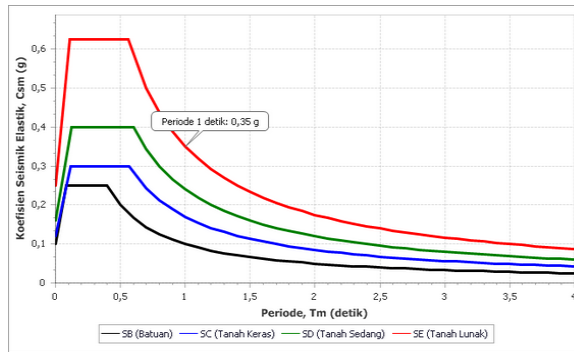
Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa, dapat dilihat dari *website* <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id> dengan memasukkan lokasi Kota Pontianak dengan jenis batuan tanah lunak. Kemudian data diinput pada program bantu untuk kemudian

diolah secara otomatis sehingga didapatkan grafik *response spectrum*.

Tabel 4.15 Nilai Koefisien Gempa

T (detik)	SA (g)	T (detik)	SA (g)
0	0.007	TS+0.9	0.012
T0	0.018	TS+1	0.011
TS	0.018	TS+1.1	0.011
TS+0	0.017	TS+1.2	0.011
TS+0.1	0.016	TS+1.3	0.01
TS+0.2	0.015	TS+1.4	0.01
TS+0.3	0.015	TS+1.5	0.01
TS+0.4	0.014	TS+1.6	0.009
TS+0.5	0.014	TS+1.7	0.009
TS+0.6	0.013	TS+1.8	0.009
TS+0.7	0.013	TS+1.9	0.009
TS+0.8	0.012	4	0.009

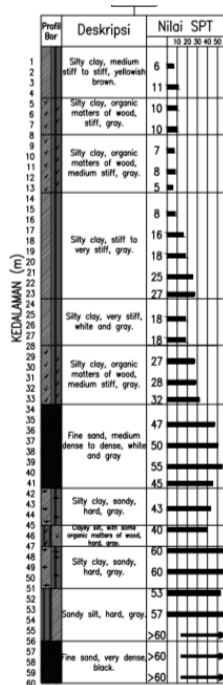
Berikut adalah grafik nilai *response spectrum* yang didapat dari puskim dapat dilihat pada Gambar 4.44.



Gambar 4.44 Grafik Response Spectrum Tanah Lunak Hasil
Desain www.pusjatan.pu.go.id

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Pada proyek pembangunan jembatan Landak I dan II didapatkan nilai N (tes N_{spt}) sampai kedalaman 60 meter diantara 6 sampai 60 jadi dapat dikatakan tanah termasuk dalam kelas situs **SD**.

Untuk faktor modifikasi respons (R) gempa pada perencanaan ini berorientasi pada SNI 2833-201X tabel 6, Pada tugas akhir ini, jembatan pada arah x dikategorikan sebagai kolom tunggal dan tingkat kepentingan Penting maka diambil factor modifikasi respons (R) sebesar **2**, untuk arah y dikategorikan sebagai kategori kolom majemuk dan tingkat kepentingan Penting maka diambil nilai factor modifikasi respons (R) sebesar **3,5**.



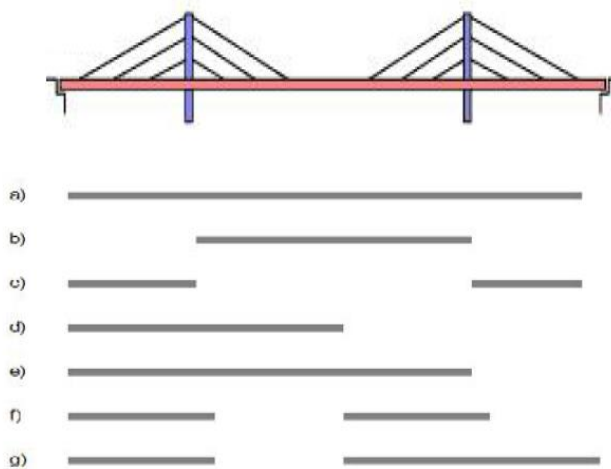
Gambar 4.52 Data N-SPT Tanah Pada Lokasi Proyek
Tabel 4.16 Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Bangunan Bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

4.4.3.2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban untuk response spektrum adalah ekstrem 1 dengan konfigurasi beban untuk analisa dinamis yang meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa response spektrum.

Untuk konfigurasi pembebanan LL tetap mengacu pada Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel” yang dapat dilihat pada Gambar 4.45



Gambar 4.45 Konfigurasi Pembebanan LL

Tabel 4.17 Kombinasi pembebanan dinamis

Ekstrem I X	Tipe a	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe b	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe c	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe d	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe e	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe f	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Tipe g	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
Ekstrem I Y	Tipe a'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe b'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe c'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe d'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe e'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe f'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Tipe g'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$

4.4.3.2. Hasil Analisa Dinamis

Tabel 4. 18 Hasil Analisa Struktur Dinamis Box Girder

		Axial (kN)	Shear-z (kN)	Shear-y (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Ekstrem I X	Tipe a	20285.46	471.14	3662.53	9438.85	79013.6	2147.37
	Tipe b	20598.88	310.41	3598.06	5498.34	78263.18	1657.15
	Tipe c	20285.24	465.8	3652.36	9333.95	70907.23	2127.48
	Tipe d	20411.16	386.37	3655.77	3937.42	92447.33	1742.6
	Tipe e	20285.46	471.81	3626.96	9447.37	84990.53	2144.26
	Tipe f	20411.15	426.58	3653.48	3615.41	78237.7	1940.86
	Tipe g	20411.15	425.64	3631.52	3475.49	84214.63	1937.76
Ekstrem I Y	Tipe a	20309.93	485.71	3664.33	9460.88	79038.11	2177.23
	Tipe b	20623.35	330.14	3600.03	5585.42	78287.68	2102.24
	Tipe c	20309.71	480.37	3654.16	9355.98	70931.73	2171.26
	Tipe d	20435.63	400.95	3657.57	4024.5	92471.84	1923.66
	Tipe e	20309.93	486.39	3628.93	9469.4	85015.03	2174.13
	Tipe f	20435.62	441.15	3655.29	3702.49	78262.2	2242.55
	Tipe g	20435.62	440.21	3633.49	3562.57	84239.14	2251.7

Tabel 4.19 Hasil Analisa Struktur Dinamis Pylon

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Ekstrem I X	Tipe a	72428.55	6706.26	3170.96	16281.7	162178.56	53155.54
	Tipe b	73108.79	7096.91	3179.98	15757.46	162282.27	55911.18
	Tipe c	71851.47	7213.91	2738.3	14365.57	144245.84	56783.23
	Tipe d	73107.22	6686.31	3324.17	15433.02	168032.61	53055.24
	Tipe e	72525.55	6806.81	3014.82	16468.12	157247.26	53910.86
	Tipe f	73872.77	7385.43	3144.06	15713.35	160930.53	58353.09
	Tipe g	74076.61	7385.43	2987.92	15899.76	155999.24	58353.09
Ekstrem I Y	Tipe a	72309.11	6749.76	3169.17	16187.05	160172.53	53369.47
	Tipe b	72989.34	7140.41	3178.2	15662.81	160276.23	56125.12
	Tipe c	71732.03	7257.41	2736.51	14270.92	142239.81	56997.16
	Tipe d	72987.78	6729.82	3322.38	15338.37	166026.57	53269.18
	Tipe e	72406.11	6724.67	3013.03	16156.19	130139.6	53497.23
	Tipe f	73753.32	7422.43	3142.28	15618.69	158924.5	58567.03
	Tipe g	73957.16	7422.43	2986.14	15805.11	153993.2	58567.02

Tabel 4. 20 Hasil Analisa Struktur Static Upper Cross Beam

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Ekstrem I X	Tipe a	12896.41	2166.95	5524.53	4136.72	21577.9	8873.71
	Tipe b	13598.12	2078.6	6019.91	3952.14	23256.37	8523.44
	Tipe c	13814.22	1946.63	6102.19	3585.52	23859.25	7779.86
	Tipe d	12873.87	2024.81	5505.01	3934.7	21398.11	8243.55
	Tipe e	13113.58	2201.53	5665.54	4184.88	21987.61	8989.46
	Tipe f	14139.58	2076.57	6408.5	3949.24	24728.17	8522.9
	Tipe g	14139.58	2111.15	6408.5	3997.4	24732.08	8638.65
Ekstrem I Y	Tipe a	12896.94	2106.21	5530.12	4166.47	21356.87	8778.7
	Tipe b	13598.66	2017.86	6025.49	3937.88	23035.35	8428.42
	Tipe c	13814.76	1885.89	6107.77	3615.27	23638.23	7684.85
	Tipe d	12874.41	1964.07	5510.6	3950.69	21177.08	8148.54
	Tipe e	13114.12	2140.79	5671.12	4214.63	21766.58	8894.45
	Tipe f	14140.11	2015.83	6414.09	3936.64	24507.15	8427.89
	Tipe g	14140.11	2050.41	6414.09	3984.79	24511.06	8543.64

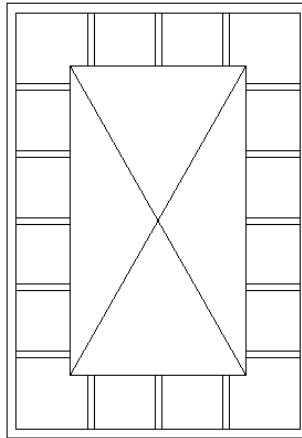
Tabel 4.21 Hasil Analisa Struktur Static Lower Cross Beam

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
Ekstrem I X	Tipe a	12896.41	2166.95	5524.53	4136.72	21577.9	8873.71
	Tipe b	13598.12	2078.6	6019.91	3952.14	23256.37	8523.44
	Tipe c	13814.22	1946.63	6102.19	3585.52	23859.25	7779.86
	Tipe d	12873.87	2024.81	5505.01	3934.7	21398.11	8243.55
	Tipe e	13113.58	2201.53	5665.54	4184.88	21987.61	8989.46
	Tipe f	14139.58	2076.57	6408.5	3949.24	24728.17	8522.9
	Tipe g	14139.58	2111.15	6408.5	3997.4	24732.08	8638.65
Ekstrem I Y	Tipe a	12896.94	2106.21	5530.12	4166.47	21356.87	8778.7
	Tipe b	13598.66	2017.86	6025.49	3937.88	23035.35	8428.42
	Tipe c	13814.76	1885.89	6107.77	3615.27	23638.23	7684.85
	Tipe d	12874.41	1964.07	5510.6	3950.69	21177.08	8148.54
	Tipe e	13114.12	2140.79	5671.12	4214.63	21766.58	8894.45
	Tipe f	14140.11	2015.83	6414.09	3936.64	24507.15	8427.89
	Tipe g	14140.11	2050.41	6414.09	3984.79	24511.06	8543.64

Tabel 4.22 Hasil Analisa Struktur Static Stroot

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
Ekstrem I X	Tipe a	17975.34	509.31	1054.61	3158.4	2887.85	5204.77
	Tipe b	18952.46	483.16	1054.61	3163.63	3083.47	5150.27
	Tipe c	19320.44	500.62	1054.61	2793.04	3083.04	4899.43
	Tipe d	16939.67	494.93	1054.61	3267.27	2887.43	5234.73
	Tipe e	17975.34	509.31	1054.61	3052.4	2924.81	5190.8
	Tipe f	17953.13	503.96	1054.61	3131.21	3255.56	5153.95
	Tipe g	18294.63	503.96	1054.61	3025.2	3261.23	5139.97
Ekstrem I Y	Tipe a	17930.97	468.86	1049.47	3123.11	2916.57	4991.37
	Tipe b	18908.09	442.7	1049.47	3128.34	3112.19	4936.86
	Tipe c	19276.06	460.16	1049.47	2757.74	3111.76	4686.02
	Tipe d	16895.29	454.48	1049.47	3231.97	2916.15	5021.32
	Tipe e	17930.97	468.86	1049.47	3017.1	2953.53	4977.39
	Tipe f	17908.75	463.5	1049.47	3095.91	3284.28	4940.54
	Tipe g	18250.25	463.5	1049.47	2989.91	3289.95	4926.56

4.5. Box Girder



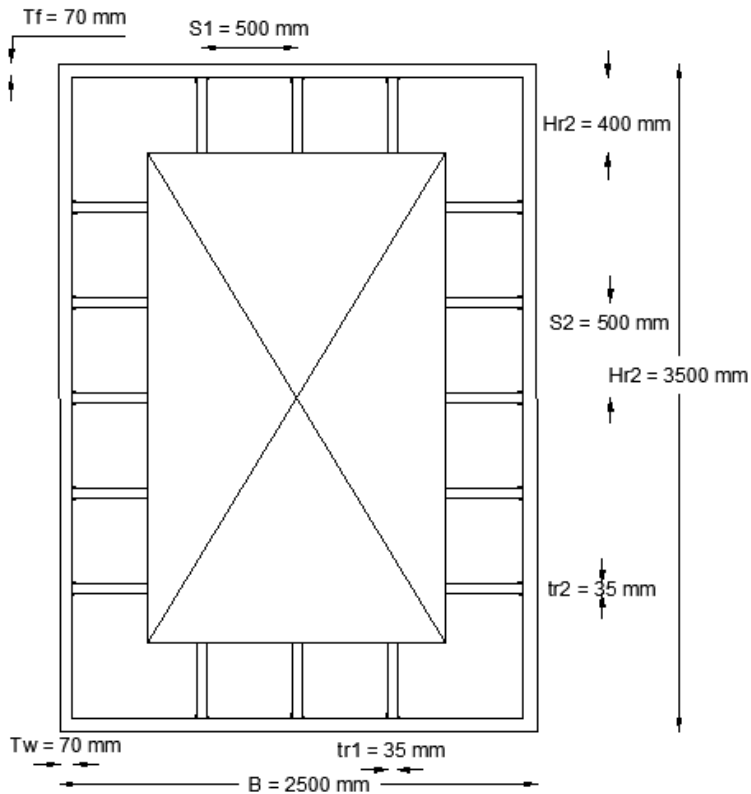
Gambar 4.53 Gambar Sketsa Penampang Box Girder

4.5.1. Perencanaan Box Girder

Desain gelagar utama jembatan multi-span *cabl-stayed* ini menggunakan twin rectangular box girder dengan dimensi 3500.2500.70.70 dengan rusuk pada sisi atas, bawah, kiri dan kanan seperti pada Gambar 4.54

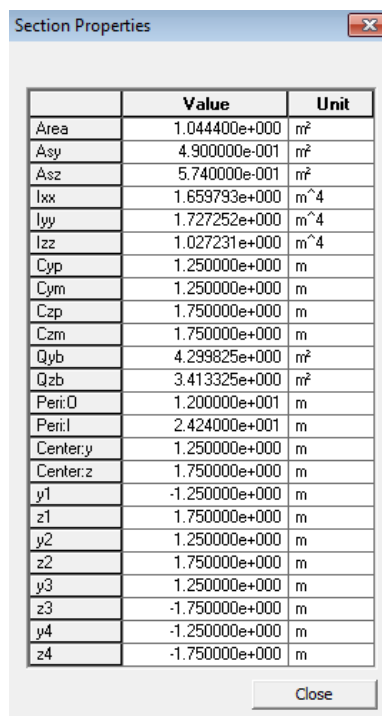
Data perencanaan sebagai berikut :

$A = 1,044 \text{ m}^2$	$i_x = 1,12861 \text{ m}$
$h = 3,5 \text{ m}$	$i_y = 0,9918 \text{ m}$
$b = 2,5 \text{ m}$	$I_x = 1,727 \text{ m}^4$
$h_{r1} = 0,4 \text{ m}$	$I_y = 1,027 \text{ m}^4$
$h_{r2} = 0,4 \text{ m}$	$Z_x = 0,9866 \text{ m}^3$
$S = 0,5 \text{ m}$	$Z_y = 0,8215 \text{ m}^3$
$t_r = 0,035 \text{ m}$	$S_x = 1,2037 \text{ m}^3$
$t_w = 0,07 \text{ m}$	$S_y = 0,9918 \text{ m}^3$
$t_f = 0,07 \text{ m}$	



Gambar 4.54 Detail Gelagar Utama (satuan mm)

Berikut adalah *section data* dan *calculation result* dengan menggunakan program MIDAS CIVIL



	Value	Unit
Area	1.044400e+000	m ²
Asy	4.900000e-001	m ²
Asz	5.740000e-001	m ²
Ixx	1.659793e+000	m ⁴
Iyy	1.727252e+000	m ⁴
Izz	1.027231e+000	m ⁴
Cyp	1.250000e+000	m
Cym	1.250000e+000	m
Czp	1.750000e+000	m
Czm	1.750000e+000	m
Qyb	4.299825e+000	m ²
Qzb	3.413325e+000	m ²
Peri:0	1.200000e+001	m
Peri:1	2.424000e+001	m
Center:y	1.250000e+000	m
Center:z	1.750000e+000	m
y1	-1.250000e+000	m
z1	1.750000e+000	m
y2	1.250000e+000	m
z2	1.750000e+000	m
y3	1.250000e+000	m
z3	-1.750000e+000	m
y4	-1.250000e+000	m
z4	-1.750000e+000	m

Gambar 4.55 Analisa Section Data dan Section Properties

4.5.2. Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur gelagar utama dilakukan dengan program bantu MIDAS/Civil. Dengan hasil analisa seperti pada bab analisa struktur didapatkan nilai gaya dalam maksimum dan minimum dari semua kombinasi, lihat Tabel 4.23 berikut ini.

Tabel 4.23 Gaya dalam pada Box Girder

	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment- y (kN·m)	Moment- z (kN·m)
MAX	22576.25	1107.67	5798.57	38446.13	161559.1	5136.96

4.5.3. Kontrol Kemampuan Penampang

4.5.3.1. Analisa kuat aksial

- Analisa Batang Tarik (SNI 1729-2015 D2-1)

$$\begin{aligned}
 P_n &= A_g \cdot f_y \\
 &= 1044000 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 261000000 \text{ N} \\
 &= 261000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,9 \cdot 261000 \text{ kN} \\
 &= 234900 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 234900 \text{ kN} > P_u = 22576,25 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Analisa Batang Tekan

Analisa kelangsingan

Sumbu Z

$$\begin{aligned}
 \lambda_r &= 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 161,22
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h/t_w &= 3,5 / 0,07 \\
 &= 50
 \end{aligned}$$

$$\lambda_r > h/t_w \quad (\text{penampang kompak})$$

$$r_z = 1286,1 \text{ mm}$$

$$L_z = 15000 \text{ mm} \quad (\text{jarak antar kabel})$$

$$K_z = 1$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_z &= \frac{L_z \cdot K_z}{r_z} \\
 &= 11,66
 \end{aligned}$$

Sumbu Y

$$\begin{aligned}
 \lambda_y &= 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 39,714
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b/t_f &= 2,5 / 0,07 \\
 &= 35,714
 \end{aligned}$$

$$\lambda_r > b/t_f \quad (\text{penampang kompak})$$

$$r_y = 1286,1 \text{ mm}$$

$$L_y = 5000 \text{ mm} \quad (\text{jarak gelagar melintang kabel})$$

$$K_y = 1$$

$$\lambda_y = \frac{L_z \cdot K_z}{r_z}$$

$$= 3,887$$

$$\lambda_z > \lambda_y$$

$$\lambda_{\text{pakai}} = 11,6631$$

Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan sebagai berikut

$$\frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{SNI 1729-2015 E3-2})$$

$$11,663 \leq 133,21$$

Maka F_{cr} ,

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2}$$

$$= 14496,269 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e} \right]$$

$$= 248,202$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} \cdot A_g$$

$$= 0,9 \times 248,202 \times 1044000$$

$$= 233210,54 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 233210,54 \text{ kN} > P_u = 22576,25 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.5.3.2. Analisa Kuat Geser

Sumbu Y (pada sayap)

$$V_{uy} = 1107,67 \text{ kN}$$

$$A_w = 2 \cdot t_f \cdot B_f$$

$$= 2 \cdot 70 \cdot 2500$$

$$= 350000 \text{ mm}^2$$

$$b/t_f = 2360/70$$

$$= 33,714$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6})$$

$$= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2360}\right)^2}$$

$$= 116,392$$

$$1,10 \sqrt{\frac{Kv.E}{F_y}} = 335,659$$

$$1,10 \sqrt{\frac{Kv.E}{F_y}} > \frac{h}{tw} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$V_n = 0,6.F_y.A_w.C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1})$$

$$= 0,6 \times 250 \times 350000 \times 1$$

$$= 47250000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 47250000$$

$$= 47250000 \text{ N} = 47250 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 47250 \text{ kN} > V_{uy} = 1107,67 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Sumbu Z (pada badan)

$$V_{uz} = 5798,57 \text{ kN}$$

$$A_w = 2. tw. H$$

$$= 2. 70. 3500$$

$$= 470400 \text{ mm}^2$$

$$h/tw = 3360/70$$

$$= 48$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6})$$

$$= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{3360}\right)^2}$$

$$= 230,792$$

$$1,10 \sqrt{\frac{Kv.E}{F_y}} = 472,659$$

$$1,10 \sqrt{\frac{Kv.E}{F_y}} > \frac{h}{tw} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$V_n = 0,6.F_y.A_w.C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1})$$

$$= 0,6 \times 250 \times 470400 \times 1$$

$$= 70560000 \text{ N}$$

$$\emptyset V_n = 0,9 \times 70560000$$

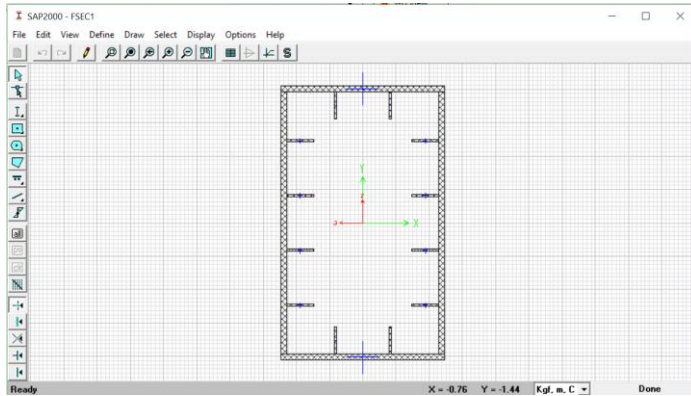
$$= 63504000 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\emptyset V_n = 63504 \text{ kN} > V_{uz} = 5798,57 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

4.5.3.3. Analisa kuat lentur

Dengan menggunakan program bantu SAP2000 didapatkan nilai modulus plastis penampang sebagai berikut:

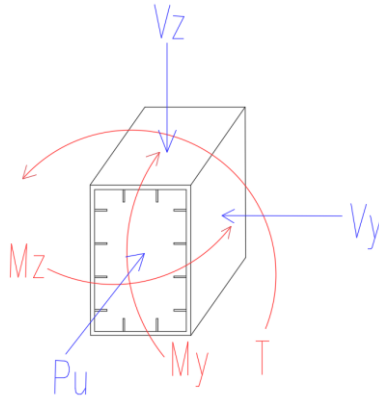


Gambar 4.56 Penampang Box

Dari analisa SAP2000 dapat dilihat bahwa asumsi *local axis* harus disamakan, dimana arah X pada SAP2000 adalah arah Y pada MIDAS CIVIL, dan arah Y pada SAP2000 adalah arah Z pada MIDAS CIVIL, maka didapat nilai sebagai berikut :

$$Z_x = Z_y = 0,9866 \text{ m}^3$$

$$Z_y = Z_z = 0,8215 \text{ m}^3$$



Gambar 4.57 Kordinat Box

Kontrol tekuk lokal

Sayap

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b}{2t_f} \\ &= \frac{2,5}{0,07} \\ &= 1,85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,12 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 31.67\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (OK)}$$

Badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{2t_w} \\ &= \frac{3,5}{2,0,07} \\ &= 25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 2,42 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 68.44\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (OK)}$$

Maka gelagar box termasuk penampang kompak.

Mn = Z. Fy SNI 1729-2015 F7.1

Momen Arah Z (pada sayap)

$$M_{uz} = 4895,32 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{nz} &= Z_z \cdot F_y \\ &= 821500000 \times 250 \\ &= 20537500000 \text{ Nmm} = 205375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nz} &= 0,9 \cdot 205375 \\ &= 184837,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{nz} = 18437,5 \text{ kNm} > M_{uz} = 4895,32 \text{ kNm} \quad (\mathbf{OK})$$

Momen Arah Y (pada badan)

$$M_{uy} = 161559,09 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= Z_y \cdot F_y \\ &= 986600000 \times 250 \\ &= 24665000000 \text{ Nmm} = 246650 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{ny} &= 0,9 \cdot 246650 \\ &= 221985 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{ny} = 221985 \text{ kNm} > M_{uy} = 161559,09 \text{ kNm} \quad (\mathbf{OK})$$

4.5.3.4. Kombinasi lentur + aksial

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{22576,25}{197606,78} = 0,968 \leq 0,2$$

Maka digunakan rumus,

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{SNI 1729-2015, H1-1b}$$

Dimana,

$$P_r = P_u = 22576,25 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 233210,54 \text{ kN}$$

$$M_{rz} = M_{uz} = 5136,96 \text{ kNm}$$

$$M_{cz} = M_{nz} = 184837,50 \text{ kNm}$$

$$M_{ry} = M_{uy} = 161559,09 \text{ kNm}$$

$$M_{cy} = M_{ny} = 221985 \text{ kNm}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{22576,25}{2.233210,54} + \left(\frac{5136,96}{184837,5} + \frac{161559,1}{221985} \right) = 0,8039$$

Kontrol :

$$0,8039 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.5.3.5. Analisa kuat torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang persegi berongga.

$$T_u = 38446,13 \text{ kNm}$$

$$h/t = 3500/70$$

$$= 50$$

$$2,45 \sqrt{E/f_y} = 69.29$$

$$h/t \leq 2,45 \sqrt{E/f_y} \text{ (SNI 1729-2015, H3-3)}$$

Maka,

$$F_{cr} = 0,6f_y$$

$$= 150 \text{ N/mm}^2$$

Untuk penampang persegi berongga konstanta nilai torsi, C, dapat secara konservatif diambil sebagai berikut :

$$C = 2.(B - t).(H - t).t - 4,5.(4-\pi)t.3$$

$$= 2 \times (2,5 - 0,07) \times (3,5 - 0,07) \times 0,07 - 4,5 \times (4-\pi.0,07)3$$

$$= 0,97574 \text{ m}^3$$

$$\phi T_c = 0,9.F_{cr}.C$$

$$= 0,9 \times 150 \times 0,97574$$

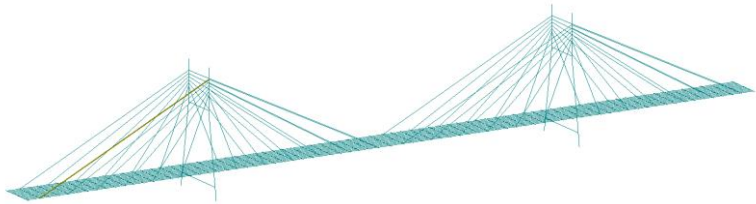
$$= 131725,47 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$\phi T_n = 131725,47 \text{ kNm} > T = 38446,13 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

4.5.4. Hasil Analisa Struktur saat Kabel Putus

Pada kasus ini diasumsikan satu kabel mengalami putus seperti dapat dilihat pada



Gambar 4.58 Asumsi 1 Kabel Putus

Dengan hasil analisa dari program bantu MIDAS/Civil, analisa struktur didapatkan nilai gaya dalam maksimum dan minimum dari semua kombinasi

Tabel 4. 24 Gaya Dalam Pada Gelagar Utama Saat Kabel Putus

	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment- y (kN·m)	Moment- z (kN·m)
MAX	23656.73	1109.85	6270.31	38623.94	171489.3	5165.61

4.5.5. Kontrol Kemampuan Penampang saat Kabel Putus

4.5.5.1. Analisa kuat aksial

- Analisa Batang Tarik (SNI 1729-2015 D2-1)

$$\begin{aligned}
 P_n &= A_g \cdot f_y \\
 &= 1044000 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 261000000 \text{ N} \\
 &= 261000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,9 \cdot 261000 \text{ kN} \\
 &= 261000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 261000 \text{ kN} > P_u = 23656,73 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Analisa Batang Tekan

Analisa kelangsingan

Sumbu Z

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 161,22$$

$$h/tw = 3,5 / 0,07$$

$$= 50$$

$$\lambda_r > h/tw \text{ (penampang kompak)}$$

$$r_z = 1286,1 \text{ mm}$$

$$L_z = 15000 \text{ mm (jarak antar kabel)}$$

$$K_z = 1$$

$$\lambda_z = \frac{L_z \cdot K_z}{r_z}$$

$$= 11,66$$

Sumbu Y

$$\lambda_y = 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 39,714$$

$$b/tf = 2,5 / 0,07$$

$$= 35,714$$

$$\lambda_r > b/tf \text{ (penampang kompak)}$$

$$r_y = 1286,1 \text{ mm}$$

$$L_y = 5000 \text{ mm (jarak gelagar melintang kabel)}$$

$$K_y = 1$$

$$\lambda_y = \frac{L_y \cdot K_y}{r_y}$$

$$= 3,887$$

$$\lambda_z > \lambda_y$$

$$\lambda_{pakai} = 11,6631$$

Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan sebagai berikut

$$\frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (SNI 1729-2015 E3-2)}$$

$$11,663 \leq 133,21$$

Maka F_{cr} ,

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K.L}{r}\right)^2}$$

$$= 14496,269 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e} \right]$$

$$= 248,202$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g$$

$$= 0,9 \times 248,202 \times 1044000$$

$$= 233210,54 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 233210,54 \text{ kN} > P_u = 23656,73 \text{ kN (OK)}$$

4.5.5.2. Analisa Kuat Geser

Sumbu Y (pada sayap)

$$V_{uy} = 1109,85 \text{ kN}$$

$$A_w = 2 \cdot t_f \cdot B_f$$

$$= 2 \cdot 70 \cdot 2500$$

$$= 350000 \text{ mm}^2$$

$$b/t_f = 2360/70$$

$$= 33,714$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6})$$

$$= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2360}\right)^2}$$

$$= 116,392$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 335,659$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} > \frac{h}{t_w} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

$$\text{Maka, } C_v = 1,0$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6.F_y.A_w.C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1}) \\
 &= 0,6 \times 250 \times 350000 \times 1 \\
 &= 47250000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \times 47250000 \\
 &= 47250000 \text{ N} = 47250 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 47250 \text{ kN} > V_{uy} = 1109,85 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Sumbu Z (pada badan)

$$V_{uz} = 6270,31 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= 2. t_w. H \\
 &= 2. 70. 3500 \\
 &= 470400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h/t_w &= 3360/70 \\
 &= 48
 \end{aligned}$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$\begin{aligned}
 K_v &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6}) \\
 &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{3360}\right)^2} \\
 &= 230,792
 \end{aligned}$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 472,659$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} > \frac{h}{t_w} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6.F_y.A_w.C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1}) \\
 &= 0,6 \times 250 \times 470400 \times 1 \\
 &= 70560000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \times 70560000 \\
 &= 63504000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 63504 \text{ kN} > V_{uz} = 6270,31 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.5.5.3. Analisa kuat lentur

Kontrol tekuk lokal

Sayap

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b}{2t_f} \\ &= \frac{2,5}{0,07} \\ &= 17,86\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,12 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 31,67\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{OK})$$

Badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{2t_w} \\ &= \frac{3,5}{2,0,07} \\ &= 25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 2,42 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 68,44\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{OK})$$

Maka gelagar box termasuk penampang kompak.

$M_n = Z_y \cdot F_y$ SNI 1729-2015 F7.1

Momen Arah Z (pada sayap)

$$M_{uz} = 5165,61 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}M_{nz} &= Z_z \cdot F_y \\ &= 821500000 \times 250 \\ &= 20537500000 \text{ Nmm} = 205375 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_{nz} &= 0,9 \cdot 205375 \\ &= 184837,5 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{nz} = 184837,5 \text{ kNm} > M_{uz} = 5165,65 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Momen Arah Y (pada badan)

$$M_{uy} = 171489,29 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}M_{ny} &= Z_y \cdot F_y \\ &= 986600000 \times 250 \\ &= 24665000000 \text{ Nmm} = 246650 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\phi M_{ny} = 0,9 \cdot 246650$$

$$= 221985 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$\emptyset M_{ny} = 221985 \text{ kNm} > M_{uy} = 171489,29 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

4.5.5.4. Kombinasi Lentur + Aksial

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{46397,25}{149515,05} = 0,1014 \geq 0,2$$

Maka digunakan rumus 1,

$$\frac{P_r}{2 \cdot P_c} + \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{SNI 1729-2015, H1-1a}$$

Dimana,

$$P_r = P_u = 23656,73 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 233210,54 \text{ kN}$$

$$M_{rz} = M_{uz} = 5165,61 \text{ kNm}$$

$$M_{cz} = M_{nz} = 184837,5 \text{ kNm}$$

$$M_{ry} = M_{uy} = 171489,29 \text{ kNm}$$

$$M_{cy} = M_{ny} = 221985 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) &= \frac{23656,73}{233210,54} + \left(\frac{5165,65}{184837,5} + \frac{171489,29}{221985} \right) \\ &= 0,8511 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$0,8511 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.5.5.5. Analisa Kuat Torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang persegi berongga.

$$T_u = 38632,94 \text{ kNm}$$

$$h/t = 3500/70$$

$$= 50$$

$$2,45 \sqrt{E/f_y} = 69,29$$

$$h/t \leq 2,45 \sqrt{E/f_y} \text{ (SNI 1729-2015, H3-3)}$$

Maka,

$$F_{cr} = 0,6f_y$$

$$= 150 \text{ N/mm}^2$$

Untuk penampang persegi berongga konstanta nilai torsi, C , dapat secara konservatif diambil sebagai berikut :

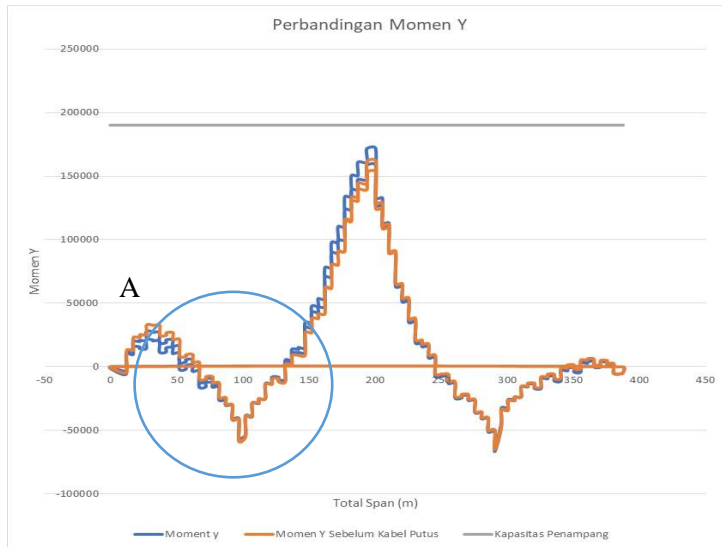
$$\begin{aligned}
 C &= 2.(B - t).(H - t).t - 4,5.(4-\pi)t.^3 \\
 &= 2 \times (2,5 - 0,07) \times (3,5 - 0,07) \times 0,07 - 4,5 \times (4-\pi)0,07)^3 \\
 &= 0,9757 \text{ m}^3 \\
 \phi T_c &= 0,9. F_{cr}. C \\
 &= 0,9 \times 150 \times 0,9757 \\
 &= 131725,47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

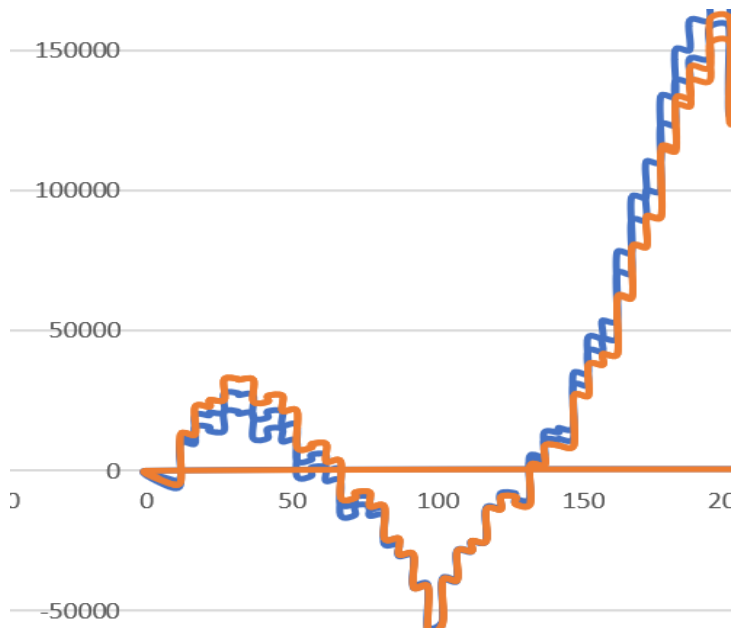
$$\phi T_n = 131725,47 \text{ kNm} > T = 38632,94 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.5.5.6. Grafik Perbandingan Gaya

Grafik perbandingan gaya dalam saat kabel tidak putus, saat 1 kabel putus dan kapasitas penampang dapat dilihat pada gambar berikut ini:

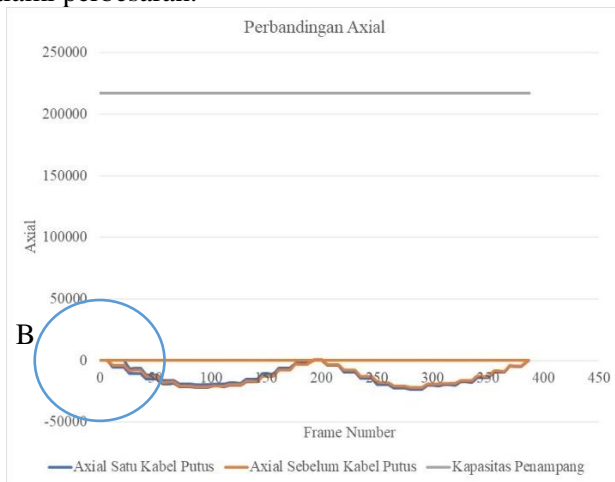


Gambar 4.59 Grafik perbandingan momen y pada box girder sebelum dan sesudah satu kabel putus

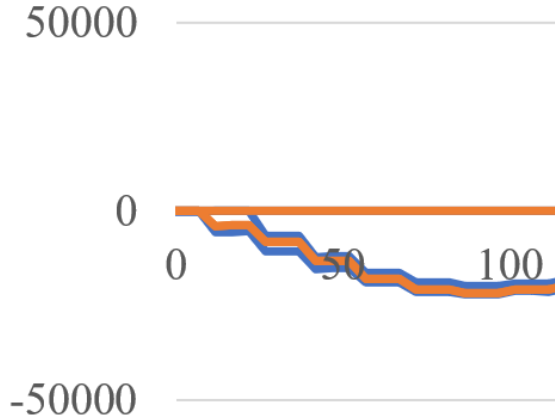


Gambar 4.60 Detail A

Dari gambar diatas terlihat bahwa momen y didaerah 1 kabel putus mengalami perbesaran.



Gambar 4.61 Grafik Perbandingan Axial Pada Box Girder Sebelum Dan Sesudah Satu Kabel Putus



Gambar 4.62 Detail B

Dari gambar diatas terlihat bahwa daerah satu kabel putus mengalami pembesaran axial.

4.5.6. Kontrol Lendutan Box Girder

Berdasarkan RSNI T-03 2005 Pasal 4.7.4. Syarat lendutan yaitu : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{\lambda}{800} \\ \delta &= \frac{387}{800} \\ &= 0,48375 \text{ m} \\ &= 483,75 \text{ mm}\end{aligned}$$

Check lendutan ijin :



Gambar 4.63 Lendutan Akibat Beban Hidup di MIDAS CIVIL

$$\delta' \leq \delta$$

$$169 \text{ mm} \leq 483,75 \text{ mm (OK)}$$

4.5.7. Sambungan Box

Sambungan gelagar utama berupa sambungan baut dengan pelat baja. Sambungan pada semua elemen gelagar utama dianggap memikul beban yang sama, dengan gaya-gaya dalam yaitu:

$$P_u = 22576,25 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 1107,67 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 5798,57 \text{ kN}$$

$$M_{uy} = 161559,09 \text{ kNm}$$

$$M_{uz} = 5136,96 \text{ kNm}$$

$$T_u = 38446,13 \text{ kNm}$$

Data perencanaan:

Baut

Desain baut :

$$D_{\text{baut}} = 35 \text{ mm}$$

$$D_{\text{prlmhn}} = 36 + 1,5 = 36,5$$

$$T_b = 490 \text{ kN}$$

$$A_{\text{baut}} = 961,625 \text{ mm}^2$$

$$f_{\text{ubaut}} = 500 \text{ Mpa}$$

Pelat penyambung

$$t_p = 35 \text{ mm (2 bidang geser)}$$

$$B_J = 41$$

$$f_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

Kuat nominal satu (1) baut

Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

Kh = 1 (Lubang standar)

m = 2

 $\mu = 0,35$ (Giling bersih)

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Geser (Vsf)} &= 1.13 \times \mu \times m \times kh \times Tb \\
 &= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 490 \\
 &= 387,59 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pelat Sayap

Syarat jarak antar baut

$$3db \leq S \leq 15. tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \times 35 \leq S \leq 15.35 \text{ mm}$$

$$105 \leq S \leq 525 \text{ mm}$$

Dipakai nilai $S = 110 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5db \leq S \leq 4tp + 100 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 35 \leq S \leq 4 \times 35 + 100$$

$$52,5 \leq S \leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai nilai $S_1 = 75 \text{ mm}$

Pelat Badan

Syarat jarak antar baut

$$3db \leq S \leq 15. tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \times 35 \leq S \leq 15.35 \text{ mm}$$

$$105 \leq S \leq 525 \text{ mm}$$

Dipakai nilai $S = 110 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5db \leq S \leq 4tp + 100 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 35 \leq S \leq 4 \times 35 + 100$$

$$52,5 \leq S \leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai nilai $S_1 = 75 \text{ mm}$

Kebutuhan baut box

Perhitungan jumlah baut dihitung dengan mempertimbangkan semua gaya-gaya dalam, baik itu gaya geser, aksial, momen dan torsi.

4.5.7.1. Sambungan Pelat Badan

Untuk menghitung jumlah baut pada pelat badan penampang box, terlebih dahulu dicari gaya-gaya apa saja yang akan ditahan oleh pelat badan penampang box, seperti berikut ini

$$\begin{aligned}
 V_{uz} &= 5798,57 \text{ kN} \\
 \frac{M_{uz}}{B} &= \frac{5136,96}{2,5} = 2176,68 \text{ kN} \\
 P_{uz} &= P_u \left(\frac{H}{2(B+H)} \right) \\
 &= 22576,25 \left(\frac{3,5}{2(2,5+3,5)} \right) \\
 &= 6584,74 \text{ kN} \\
 T &= \frac{T_u}{B} \left(\frac{H}{B+H} \right) \\
 &= \frac{38446,13}{2,5} \left(\frac{3,5}{2,5+3,5} \right) \\
 &= 8970,76 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Resultan gaya

$$\begin{aligned}
 R_s &= \sqrt{((V_{uz}+T)^2 + (P_{uz}+M_{uy}/B)^2)} \\
 &= \sqrt{((5798,7 + 8970,7)^2 + (6584,7 + 2176,68)^2)} \\
 &= 17172,526 \\
 n_{baut} &= R_s / \phi V_n \\
 &= 17172,526 / 387,59 \\
 &= 44 \text{ buah} \\
 \text{Dipasang} &= 66 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

4.5.7.2. Sambungan Pelat Sayap

Untuk menghitung jumlah baut pada pelat badan penampang box, terlebih dahulu dicari gaya-gaya apa saja yang akan ditahan oleh pelat sayap penampang box, seperti berikut ini:

$$\begin{aligned}
 V_{uy} &= 1107,67 \text{ kN} \\
 \frac{M_{uy}}{H} &= \frac{161559,09}{3,5} = 47101,78 \text{ kN} \\
 P_{uy} &= P_u \left(\frac{B}{2(B+H)} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 22576,25 \left(\frac{2,5}{2(2,5+3,5)} \right) \\
 &= 4703,385 \text{ kN} \\
 T &= \frac{T_u}{H} \left(\frac{B}{B+H} \right) \\
 &= \frac{38446,13}{3,5} \left(\frac{2,5}{2,5+3,5} \right) \\
 &= 4576,92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

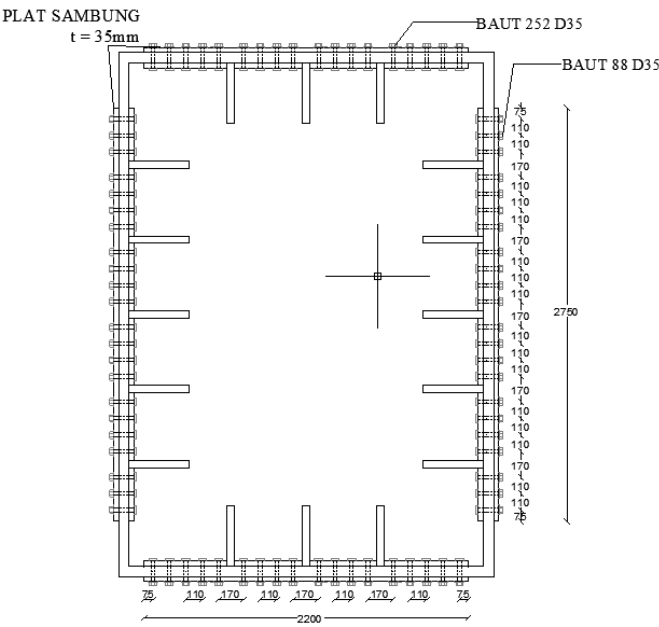
Resultan gaya

$$\begin{aligned}
 R_s &= \sqrt{(V_{uy} + T)^2 + \left(P_{uy} + \frac{M_{uy}}{B} \right)^2} \\
 &= \sqrt{(1107,67 + 4576,9)^2 + (4703,4 + 47101,8)^2} \\
 &= 52116,113
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{nbaut} &= R_s / \phi V_n \\
 &= 52116,113 / 387,59 \\
 &= 135 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang 144 buah

Sebagai ilustrasi sambungan pada gelagar utama dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.66 Tampak Melintang Sambungan Box

4.6. Struktur Kabel

Struktur kabel merupakan salah satu struktur utama pada jembatan *cable-stayed*, struktur kabel akan memikul beban dari lantai kendaraan. Beban yang dipikul berupa beban tetap, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban saat pelaksanaan. Semua beban tersebut kemudian akan disalurkan ke menara (*pylon*).

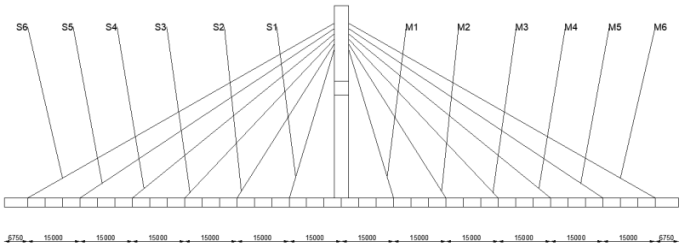
4.6.1. Data Perencanaan

Pada bab preliminary desain telah dijelaskan bahwa ada dua jenis kabel paralel VSL 7-wire strand yang dapat digunakan untuk desain jembatan kabel. Pada desain ini digunakan kabel yang spesifikasinya disesuaikan dengan persyaratan RSNI T-03-2005 pasal 12.6, yang menyatakan bahwa kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat Tarik minimum 1800 N/mm², maka dipakai kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270.

Tabel 4.25 Jenis Kabel

Standard	ASTM A 416-06 Grade 270	<u>Euronorme</u> 138-3
Ø (mm)	15,2	15,7
A _s (mm ²)	140	150
f _u (f _{uim} =0,7f _u)(Mpa)	1860 (1302)	1770 (1239)
<u>Ukuran anker</u>	7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand	

Dalam perencanaan akan digunakan kabel tipe I (15,2 mm)



Gambar 4.67 Tatanan System Kabel dan Penamaan Kabel
Jumlah strand dan luas kabel awal (*preliminary design*)

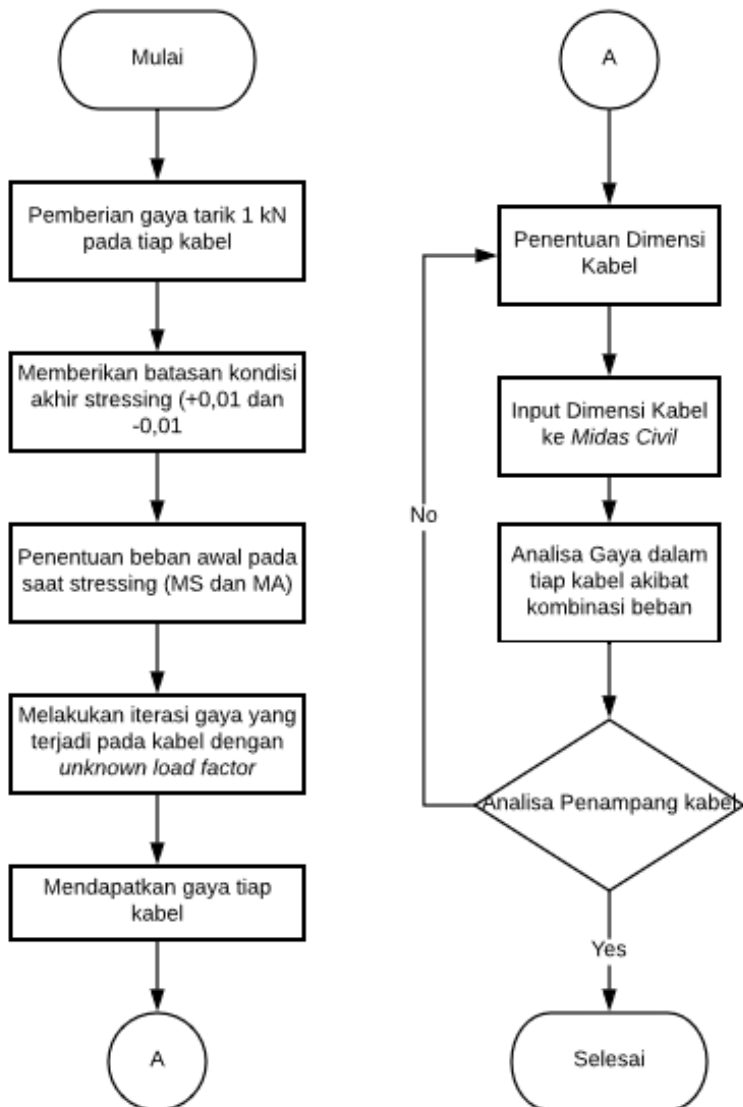
Tabel 4.26 Perhitungan Penampang Dan Jumlah Strand Kabel

No	α (°)	WL + P (kg)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	n (kabel)	r m	d m
S ₆	26	787935.203	90	0.012226746	12226.75	88	0.062401	0.124802
S ₅	30	787935.203	75	0.01068819	10688.19	77	0.058343	0.116686
S ₄	35	787935.203	60	0.009294627	9294.627	67	0.054407	0.108813
S ₃	42	787935.203	45	0.007951609	7951.609	57	0.050323	0.100645
S ₂	53	787935.203	30	0.006652293	6652.293	48	0.046028	0.092056
S ₁	70	787935.203	15	0.005649011	5649.011	41	0.042415	0.08483
M ₁	70	787935.203	15	0.005649011	5649.011	41	0.042415	0.08483
M ₂	53	787935.203	30	0.006652293	6652.293	48	0.046028	0.092056
M ₃	42	787935.203	45	0.007951609	7951.609	57	0.050323	0.100645
M ₄	35	787935.203	60	0.009294627	9294.627	67	0.054407	0.108813
M ₅	30	787935.203	75	0.01068819	10688.19	77	0.058343	0.116686
M ₆	26	787935.203	90	0.012226746	12226.75	88	0.062401	0.124802

4.6.2. Gaya Stressing

Dalam pelaksanaannya masing-masing kabel diberi gaya Tarik (*stressing*) terlebih dahulu sebelum dibebani. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur posisi gelagar agar sesuai dengan posisi akhir sebelum menerima beban hidup. Apabila gaya Tarik ini tidak diberikan pada kabel, gelagar akan melendut terlebih dahulu sebelum menerima beban hidup, hal ini terjadi akibat deformasi kabel karena dibebani lantai kendaraan. Dengan bantuan program MIDAS CIVIL dapat dianalisa besarnya gaya tarik masing-masing kabel dengan fitur *unknown load factors calculation*.

Langkah-langkah analisa gaya tarik kabel akan dijelaskan dengan flowchart berikut :



Gambar 4.68 Flowchart perhitungan kabel
Masing-masing gaya kabel hasil iterasi dapat dilihat dibawah,

Tabel 4.27 Gaya kabel akibat pretension 1 kN (tunning cable)

Kabel	Preliminary	
S6	5930.988	kN
S ₅	5033.749	kN
S ₄	4224.549	kN
S ₃	3888.034	kN
S ₂	3768.492	kN
S ₁	3490.673	kN
M ₁	3608.328	kN
M ₂	3737.84	kN
M ₃	3869.673	kN
M ₄	4496.674	kN
M ₅	5183.818	kN
M6	5452.589	kN

Dari gaya tarik awal (pre-tension) tersebut dapat diperoleh kebutuhan *strand* dan luas penampang kabel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada berikut :

$$\begin{aligned}
 F_u \text{ kabel} &= 1860 \text{ mpa} \\
 F_u \text{ ijin} &= 0.45 \times 1860 \text{ mpa} \\
 &= 83700000 \text{ Kg/m}^2 \\
 A_s &= 140 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 28 Kebutuhan Luas Penampang Kabel Akibat Pretension 1 kN

Kabel	f ijin (kg/m ²)	force (kg)	A perlu (m ²)	N perlu (kabel)	N perlu (kabel)	N prtns (kabel)	A prtns (mm ²)	r (mm)	d (mm)
S6	83700000	593098.8	0.00708601	5.06143E-05	50.6143	53	7420	48.61	97.22
S ₅	83700000	503374.9	0.00601404	4.29574E-05	42.9574	45	6300	44.79	89.59
S ₄	83700000	422454.9	0.00504725	3.60518E-05	36.0518	44	6160	44.29	88.58
S ₃	83700000	388803.4	0.0046452	3.318E-05	33.18	35	4900	39.50	79.01
S ₂	83700000	376849.2	0.00450238	3.21599E-05	32.1599	35	4900	39.50	79.01
S ₁	83700000	349067.3	0.00417046	2.9789E-05	29.789	32	4480	37.77	75.54
M ₁	83700000	360832.8	0.00431103	3.0793E-05	30.793	32	4480	37.77	75.54
M ₂	83700000	373784	0.00446576	3.18983E-05	31.8983	35	4900	39.50	79.01
M ₃	83700000	386967.3	0.00462327	3.30233E-05	33.0233	35	4900	39.50	79.01
M ₄	83700000	449667.4	0.00537237	3.83741E-05	38.3741	44	6160	44.29	88.58
M ₅	83700000	518381.8	0.00619333	4.42381E-05	44.2381	45	6300	44.79	89.59
M6	83700000	545258.9	0.00651444	4.65317E-05	46.5317	53	7420	48.61	97.22

Kemudian A pakai diinput pada MIDAS, dan didapatkan gaya kabel yang baru, diambil gaya- gaya maksimum dari semua

kombinasi yang ada, lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel berikut ini :

Tabel 4. 29 Gaya Masing-Masing Kabel

Kabel	Pretension		Load
S6	8523.149399	kN	KUAT I (D)
S5	7075.145854	kN	KUATI (D)
S4	6915.978476	kN	KUATI (D)
S3	5068.990577	kN	KUAT I (D)
S2	4125.214175	kN	KUAT I (E)
S1	2314.614654	kN	KUAT I (C)
M1	3264.802122	kN	KUAT I (B)
M2	5794.880579	kN	KUAT I (D)
M3	6568.744414	kN	KUAT I (D)
M4	7999.348302	kN	KUAT I (D)
M5	6745.061801	kN	KUAT I (D)
M6	5887.093332	kN	KUAT I (D)

Dari gaya-gaya maksimum tersebut dapat diperoleh kebutuhan strand dan luas penampang kabel yang sebenarnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada

Tabel 4.30 berikut ini.

*Tabel 4.30 Kebutuhan luas penampang kabel sebenarnya
(Apakai)*

Kabel	f ijin (kg/m ²)	force (kg)	A perlu (m ²)	N perlu (kabel)	N perlu (kabel)	N pakai (kabel)	A pakai (mm ²)	r (mm)	d (mm)
S6	83700000	852314.94	0.010183	7.27355E-05	72.736	105	14700	68.422	136.843395
S5	83700000	707514.59	0.008453	6.03784E-05	60.378	100	14000	66.773	133.545479
S4	83700000	691597.85	0.0082628	5.90201E-05	59.02	100	14000	66.773	133.545479
S3	83700000	506899.06	0.0060561	4.32582E-05	43.258	75	10500	57.827	115.653777
S2	83700000	412521.42	0.0049286	3.52041E-05	35.204	75	10500	57.827	115.653777
S1	83700000	231461.47	0.0027654	1.97526E-05	19.753	60	8400	51.722	103.443883
M1	83700000	326480.21	0.0039006	2.78614E-05	27.861	60	8400	51.722	103.443883
M2	83700000	579488.06	0.0069234	4.94528E-05	49.453	75	10500	57.827	115.653777
M3	83700000	656874.44	0.007848	5.60569E-05	56.057	75	10500	57.827	115.653777
M4	83700000	799934.83	0.0095572	6.82655E-05	68.265	100	14000	66.773	133.545479
M5	83700000	674506.18	0.0080586	5.75615E-05	57.562	100	14000	66.773	133.545479
M6	83700000	588709.33	0.0070336	5.02397E-05	50.24	105	14700	68.422	136.843395

Dari tabel diatas dapat diperoleh gaya tarik kabel yang sebenarnya.

Tabel 4.31 Gaya kabel sebenarnya (P)

Kabel	A pakai		Load
S6	9661.336409	kN	KUAT I (D)
S5	7836.83834	kN	KUATI (D)
S4	7679.40472	kN	KUATI (D)
S3	5306.87754	kN	KUAT I (D)
S2	4463.361512	kN	KUAT I (E)
S1	1949.645882	kN	KUAT I (C)
M1	2605.123184	kN	KUAT I (B)
M2	6036.159642	kN	KUAT I (D)
M3	6796.542241	kN	KUAT I (D)
M4	8872.081199	kN	KUAT I (D)
M5	7513.985181	kN	KUAT I (D)
M6	6699.011693	kN	KUAT I (D)

4.6.3. Analisa Penampang Kabel

4.6.3.1. Analisa Penampang Kabel Akibat Beban Aktual

Penampang kabel akan dicek, apabila kabel dengan desain A_{pakai} tersebut mampu untuk menahan gaya kabel sebenarnya (P) , maka penampang kabel memenuhi syarat.

Berikut contoh perhitungannya.

Kabel S6 :

$$A_{\text{Spakai}} = 14000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_{\text{ijin}} \cdot A_{\text{Spakai}} \\ &= 0,837 \text{ kN/mm}^2 \cdot 14700 \text{ mm}^2 \\ &= 12303.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P = 9661.3 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$P_n = 12303.9 \text{ kN} > P = 9661.3 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Perhitungan kontrol kemampuan kabel dengan penampang actual akibat gaya tarik yang terjadi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.32 berikut ini.

Tabel 4.32 Kontrol kemampuan kabel dari A_{pakai}

Kabel	f ijin (kg/m ²)	A pakai (mm ²)	Pn (kg)	Pn (kN)	P (kN)	Kontrol
S6	83700000	14700	1230.39	12303.9	9661.336	ok
S5	83700000	14000	1171.8	11718	7836.838	ok
S4	83700000	14000	1171.8	11718	7679.405	ok
S3	83700000	10500	878.85	8788.5	5306.878	ok
S2	83700000	10500	878.85	8788.5	4463.362	ok
S1	83700000	8400	703.08	7030.8	1949.646	ok
M1	83700000	8400	703.08	7030.8	2605.123	ok
M2	83700000	10500	878.85	8788.5	6036.16	ok
M3	83700000	10500	878.85	8788.5	6796.542	ok
M4	83700000	14000	1171.8	11718	8872.081	ok
M5	83700000	14000	1171.8	11718	7513.985	ok
M6	83700000	14700	1230.39	12303.9	6699.012	ok

4.6.3.2. Analisa Penampang Kabel Akibat Satu Kabel Putus

Perhitungan kemampuan kabel dengan penampang actual akibat gaya tarik yang terjadi saat satu kabel putus. Untuk perumpamaan kabel yang putus diambil kabel dengan gaya tarik yang paling besar (S6), untuk gaya tarik akibat satu kabel putus dapat dilihat pada tabel 4.33 berikut ini :

Tabel 4.33 Gaya Kabel Akibat Satu Kabel Putus (P)

Kabel	A pakai		Load
S5	11183.89157	kN	KUATI (D)
S4	10020.48816	kN	KUATI (D)
S3	6683.333663	kN	KUATI (D)
S2	5271.9289	kN	KUATI (E)
S1	2277.64507	kN	KUATI (C)
M1	2886.405026	kN	KUATI (B)
M2	6319.698652	kN	KUATI (D)
M3	6971.452744	kN	KUATI (D)
M4	9139.022069	kN	KUATI (D)
M5	7675.84592	kN	KUATI (D)
M6	6990.7	kN	KUATI (D)

Penampang kabel akan dicek, apabila kabel dengan desain A_{pakai} tersebut mampu untuk menahan gaya kabel akibat satu kabel putus (P), maka penampang kabel memenuhi syarat.

Berikut contoh perhitungannya.

Kabel S5 :

$$A_{\text{Spakai}} = 14000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_{\text{ijin}} \cdot A_{\text{Spakai}} \\ &= 0,837 \text{ kN/mm}^2 \cdot 14000 \text{ mm}^2 \\ &= 11718 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P = 11183.89 \text{ kN}$$

Kontrol :

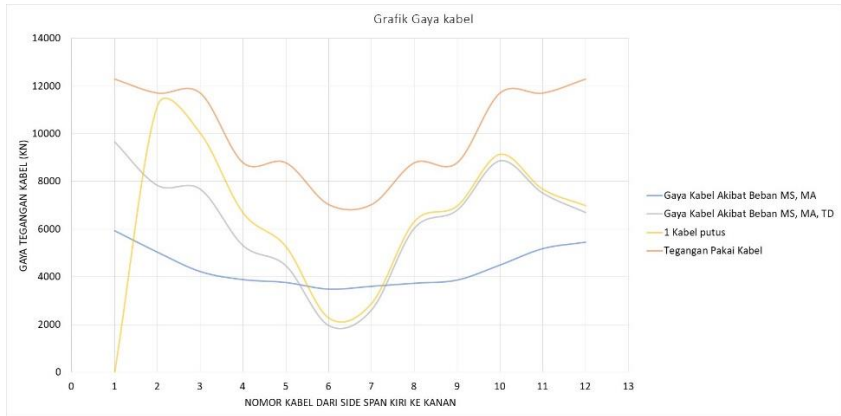
$$P_n = 11718 \text{ kN} > P = 11183.89 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Perhitungan kontrol kemampuan kabel dengan penampang actual akibat gaya tarik yang terjadi lainnya dapat dilihat pada **Tabel 4.34** berikut ini.

Tabel 4.34 Kontrol Kemampuan Kabel Dari Aspakai

Kabel	f _{ijin} (kg/m ²)	A _{pakai} (mm ²)	P _n (kg)	P _n (kN)	P (kN)	Kontrol
S5	83700000	14000	1171.8	11718	11183.89	ok
S4	83700000	14000	1171.8	11718	10020.49	ok
S3	83700000	10500	878.85	8788.5	6683.334	ok
S2	83700000	10500	878.85	8788.5	5271.929	ok
S1	83700000	8400	703.08	7030.8	2277.645	ok
M1	83700000	8400	703.08	7030.8	2886.405	ok
M2	83700000	10500	878.85	8788.5	6319.699	ok
M3	83700000	10500	878.85	8788.5	6971.453	ok
M4	83700000	14000	1171.8	11718	9139.022	ok
M5	83700000	14000	1171.8	11718	7675.846	ok
M6	83700000	14700	1230.39	12303.9	6990.7	ok

Lebih lanjut, kemampuan kabel dengan penampang actual akibat gaya tarik akan diperlihatkan grafik pada Gambar 4.69 berikut ini :



Gambar 4.69 Grafik Perbandingan Kemampuan Kabel Dengan Gaya Tarik Yang Diterima Kabel.

Dari gambar diatas dapat terlihat bahwa setiap kabel mengalami perbesaran tegangan karena kabel S6 dianggap putus, untuk melihat tegangan kabel S6 sudah ditanggulangi oleh kabel-kabel lainnya dapat dilihat pada perhitungan berikut :

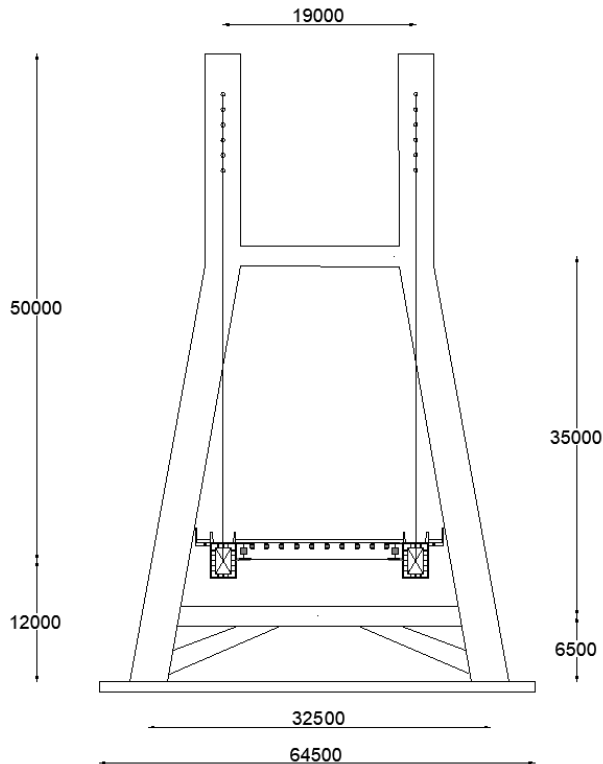
$$\begin{aligned}
 P_{S6} &= \text{Total Pertambahan Tegangan } S5 - M6 \\
 9661,3 &= (3347,1 + 2341,1 + 1376,5 + 808,57 + 328 + 281,28 \\
 &\quad + 283,54 + 174,91 + 66,941 + 161,86 + 491,69) \text{ kN} \\
 9661,3 &= 9661,3 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil kontrol diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kebutuhan luas penampang dan jumlah *strand* kabel yang dipakai sudah mampu untuk menahan gaya tarik maksimum yang terjadi.

4.7. Struktur *Pylon*

Struktur *pylon* berfungsi memikul beban yang terjadi pada lantai kendaraan, baik berupa beban hidup maupun beban mati, beban dari lantai kendaraan disalurkan melalui kabel ke *pylon* untuk kemudian ditransfer ke pondasi.

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, berikut adalah bentuk penampang *pylon* yang digunakan. Dimana penampang *pylon* dibagi menjadi 3 bagian, yaitu kolom *pylon*, *lower cross beam* dan *upper cross beam*. Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.70**.



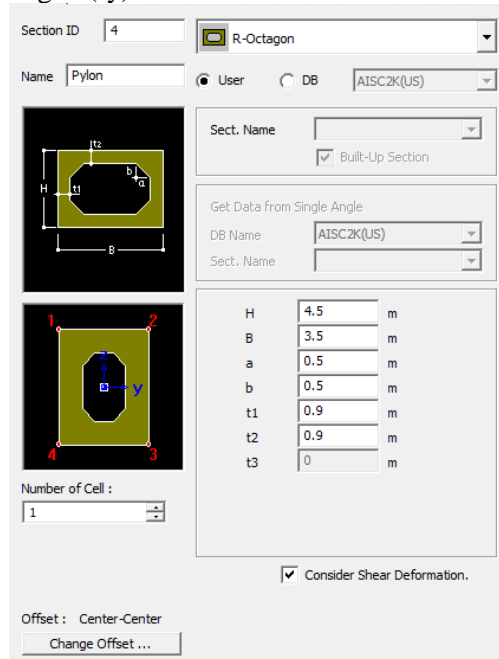
Gambar 4.70 Penampang *Pylon*

4.7.1. Kolom Pylon

4.7.1.1. Perencanaan Kolom Pylon

Berikut adalah properti dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 4.71.

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa



Section ID: 4

Name: Pylon

Section Type: R-Octagon

Material: User

Database: AISC2K(US)

Sect. Name: [Empty]

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC2K(US)

Sect. Name: [Empty]

H	4.5	m
B	3.5	m
a	0.5	m
b	0.5	m
t1	0.9	m
t2	0.9	m
t3	0	m

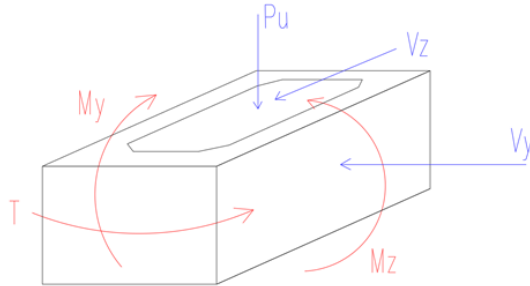
☒ Consider Shear Deformation.

Number of Cell: 1

Offset: Center-Center

Change Offset ...

Gambar 4.71 Section properties penampang kolom



Gambar 4.72 Koordinat kolom pylon

4.7.1.2. Penulangan lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

$$92267,7 < 58300 \quad (\text{Maka tekan diperhitungkan})$$

1. Arah Y (*braced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\cdot \frac{k \cdot l}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

- k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)
- l_u = panjang bebas komponen tekan (62 m)
- r = jari-jari girasi penampang (1,14m)
- M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil (21108,40 kNm)
- M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar (245285,54 kNm)

maka,

$$\frac{1,62}{1,14} \leq 34 - 12 \left(\frac{21108,40}{245285,54} \right) \leq 40$$

$$54,279 \leq 32,967 \leq 40$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

$$Q = \frac{\Sigma Pu \Delta \alpha}{Vu \cdot I} \leq 0,05 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2})$$

Dimana:

P_u = gaya tekan terfaktor (92267,7 kN)

$\Delta \alpha$ = simpangan relatif (0,01 m)

Vu_y = gaya geser terfaktor (11137,96 kN)

I_y = inersia (24,4967 m⁴)

maka,

$$Q = \frac{92267,7 \times 0,01}{11137,96 \times 24,4967} = 0,0034 < 0,05 \text{ (kolom tidak dianggap bergoyang)}$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

$$EI = \frac{0,4EcI}{1+\beta_{dns}} \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.1})$$

Dimana,

$$\beta_{dns} = 0,5 \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.2})$$

$$EI = \frac{0,4 \cdot 33234,018 \cdot 10^6 \cdot 24,4967}{1+0,5} = 1,17 \times 10^{10} \text{ kNm}^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot l)^2} \quad (\text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13})$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 2,17 \cdot 10^{11}}{(1,62)^2}$$

$$= 556845985,7 \text{ kN}$$

Faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0,75Pc}} \geq 1,0$$

dimana,

$$cm = 1,0 \text{ (Cm} > 1 \text{ untuk kolom dengan pengaku lateral)}$$

$$\begin{aligned}\delta_{ns} &= \frac{1}{1 - \frac{92267,7}{0,75 \cdot 556845985,7}} \\ &= 1,00022 > 1,0 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Momen desain

$$\begin{aligned}M_c &= \delta_{ns} \cdot M_u \\ &= 1,00022 \cdot 85842,16 \text{ kNm} \\ &= 85861,13 \text{ kNm}\end{aligned}$$

2. Arah Z (*unbraced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\cdot \frac{k \cdot l}{r} \leq 22 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

l_u = panjang bebas komponen tekan (62 m)

r = jari-jari girasi penampang (1,14 m)

maka,

$$\frac{1,62}{1,14} \leq 22$$

$$54,279 \leq 22$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

$$Q = \frac{\Sigma P u \cdot \Delta \alpha}{V u \cdot I} \leq 0,05 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2})$$

Dimana:

P_u = gaya tekan terfaktor (92267,7 kN)

$\Delta \alpha$ = simpangan relatif (0,01 m)

V_{u_z} = gaya geser terfaktor (5389,88 kN)

I_z = inersia (15,2131 m⁴)

maka,

$$Q = \frac{92267,70 \times 0,01}{5389,88 \times 15,2131}$$

$$= 0,0113 < 0,05 \text{ (kolom dianggap tidak bergoyang)}$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

$$EI = \frac{0,4Ec.I}{1+\beta_{dns}} \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.1})$$

Dimana,

$$\beta_{dns} = 0,5 \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.2})$$

$$EI = \frac{0,4.33234,018.10^6.15,213}{1+0,5} = 1,17 \times 10^{10} \text{ kNm}^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k.l)^2} \quad (\text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13})$$

$$= \frac{\pi^2.1,348.10^{11}}{(1.62)^2}$$

$$= 345816571,3 \text{ kN}$$

Faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0,75P_c}} \geq 1,0$$

dimana,

$$cm = 1,0 \text{ (Cm} > 1 \text{ untuk kolom dengan pengaku lateral)}$$

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{92267,7}{0,75.345816571,3}}$$

$$= 1,0004 > 1,0 \text{ (OK)}$$

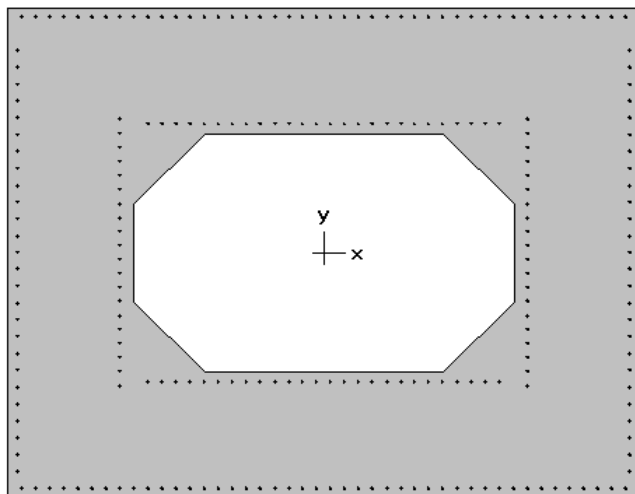
- Momen desain

$$M_c = \delta_{ns}.M_u$$

$$= 1,0004.245285,54 \text{ kNm}$$

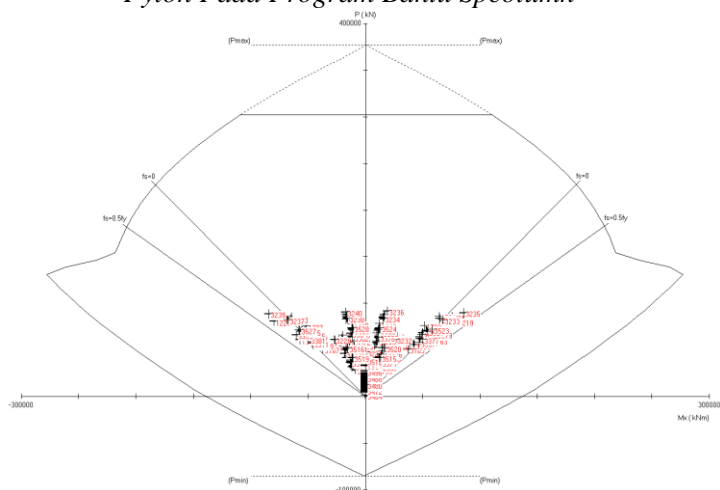
$$= 245372,83 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.73**

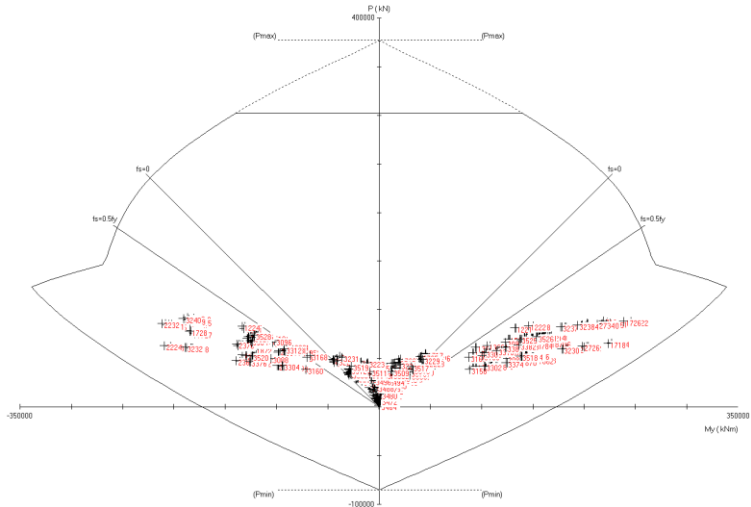


4500 × 3500 mm
2.02% reinf.

Gambar 4.73 Desain Penampang Dan Tulangan Longitudinal Pylon Pada Program Bantu Spcolum



Gambar 4.74 Grafik Diagram Interaksi SpColumn Arah Z



Gambar 4.75 Grafik Diagram Interaksi SpColumn arah Y

Dari hasil analisa didapat :

232 buah D36 (2,13 %)

$A_s = 2386027,52 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{4500 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 40 \cdot 36}{40 - 1}$$

$$= 73,74 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol jarak antar tulangan y

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{3500 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 25 - 26 \cdot 40}{26 - 1}$$

$$= 95,20 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Dipakai tulangan lentur 232D36

4.7.1.3. Penulangan geser

1. Arah Y (*braced frame*)

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai tekan aksial
(SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c'} b d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{9 \times 10^{10}}{14.8100000} \right) 1. \sqrt{50}. 4360.1660 \\ &= 9321627,072 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,85. 9321627,072 \\ &= 7923383,011 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 7923 \text{ kN} > V_{u_y} = 11138 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Maka perlu tulangan geser

- Perhitungan tulangan geser
 - Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 4,5 m
2. 1/6 Tinggi Kolom = 10,33 m (Menentukan)
3. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

1. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 1800 = 450 \text{ mm}$
2. $6 d_b = 6 \times 36 = 216 \text{ mm}$
3. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
4. $S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0.5x(1800 - 2x(70 + 22/2)))}{3} \right) = *$
 $56,33 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

$A_{sh_{\min}}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$\begin{aligned} b_{cy} &= 1800 - 70 - 2 \times 22 = 1686 \text{ mm} \\ A_{ch} &= (1660 \times 4360) \end{aligned}$$

$$= 7237600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f' c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 753,361 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f' c}{f_{yt}} = 1896,75 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 8D22-100 ($A_s = 3039,52 \text{ mm}^2 > 1896,75 \text{ mm}^2$)

- Daerah Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$V_s = V_u / \phi - V_c$$

$$= 11138 / 0,85 - 7923$$

$$= 5180,099 \text{ kN}$$

Desain tulangan geser

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$h_{eff} = 4360 \text{ mm}$$

maka,

$$A_v = n \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2$$

$$= 6 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 22^2$$

$$= 2279,64 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{2279,64 \cdot 400 \cdot 4360}{5180,099}$$

$$= 768 \text{ mm}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

$$\text{Spakai} = 250 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan

Syarat jarak tulangan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22 mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 1800/2 = 900 mm
- 300 mm

Diambil spasi terkecil yaitu 288 mm

Kontrol :

$$s_{maks} = 288 \text{ mm} > s = 250 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan sengkang 6D22-250

2. Arah Z (*unbraced frame*)

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai tekan aksial

SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{9 \times 10^{10}}{14.6300000} \right) 1. \sqrt{50}. 1660.3360 \\ &= 7020650420 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,85. 7020650420 \\ &= 5967552857 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 5967,553 \text{ kN} < V_{u_y} = 5390 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Maka dipasang tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 4,5 m
2. 1/6 Tinggi Kolom = 10,33 (Menentukan)
3. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

1. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 1800 = 450 \text{ mm}$
2. $6 d_b = 6 \times 36 = 216 \text{ mm}$
3. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
4. $S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0.5x(1800 - 2x(70 + 22/2)))}{3} \right) = -56,33 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

$A_{sh_{\min}}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cx} = 1800 - 70 - 2 \times 22 = 1686 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 1660 \times 3360 = 5577600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 818,878 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_t} = 1896,75 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 8D22-100 ($A_s = 3039,52 \text{ mm}^2 > 1896,75 \text{ mm}^2$)

- Daerah Luar Sendi Plastis

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- $\frac{1}{2}$ dimensi kolom terkecil = $1800/2 = 900 \text{ mm}$
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{1660 \cdot 288}{400} \\ &= 523,9830 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 1660 \cdot 288) / 400 = 418,32 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 523,98 \text{ mm}^2 > (0,35.bw.s)/f_y = 418,32 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipasang sengkang 6D22-250 dengan $A_s = 2279,64 \text{ mm}^2$

4.7.1.4. Penulangan torsi

Desain tulangan torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 11660000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(4500+3500) = 16000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} T_u &= 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{11660000^2}{16000} \right) \\ &= 21769 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,85 \times 4238,95 \\ &= 3603 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T = 21769 \text{ kNm} < T_n = 3603 \text{ kNm} \quad (\text{Not OK})$$

Perlu tulangan torsi

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$\begin{aligned} T_n &= T_u / \phi \\ &= 21769 / 0,85 \\ &= 25610,49 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot (3338 \times 4338) \\ &= 14480244 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \quad \text{maka}$$

$$\begin{aligned} A_t/s &= \frac{T_n}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{25610494118}{2 \cdot 14480244 \cdot 400 \cdot \cot 45} \\ &= 2,601 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7})$$

$$= 2,601 \cdot (2 \cdot (3338 + 4338)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45$$

$$= 39929,89118 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1919 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D36

$$A_s = 0.25\pi D^2$$

$$= 1017,36$$

$$n = A_l / A_s$$

$$= 39,248$$

$$= 40 \text{ buah}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal 40D36

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$A_t = \frac{T_n \cdot s}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$= 780,287$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1919 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D22

$$n = 3$$

$$A_s = 3 \cdot 0.22\pi D^2$$

$$= 1139,82 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s = 1139,82 \text{ mm}^2 < A_t = 780,287 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

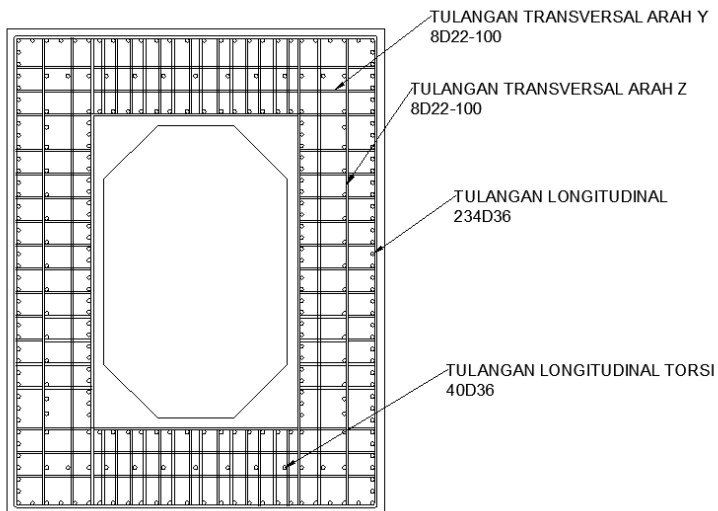
Dipakai tulangan torsi transversal 3D22-300 dengan $A_s = 1139,82 \text{ mm}^2$

Rekapitulasi Penulangan:

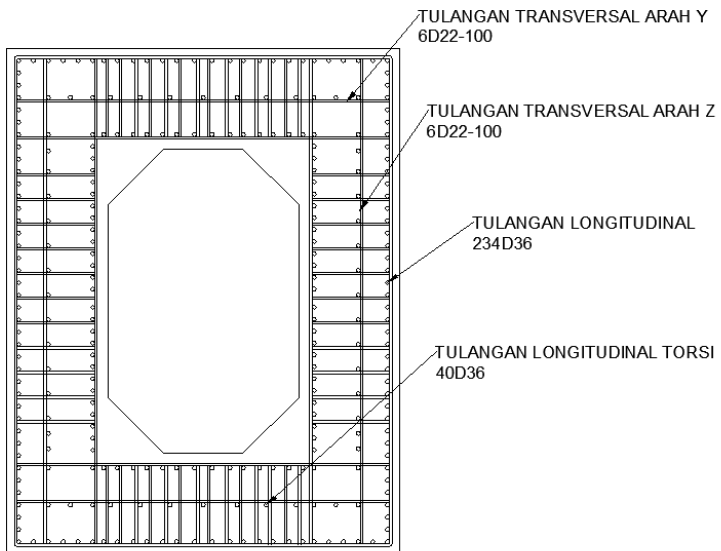
Tabel 4.33 Rekapitulasi Hasil Penulangan Kolom Pylon

Tulangan Longitudinal	234D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	8D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	6D22-250
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	8D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	6D22-250
Tulangan Torsi Longitudinal	40D36
Tulangan Torsi Transversal	3D22-300

Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.76** dan **Gambar 4.77**



Gambar 4.76 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Sendi Plastis



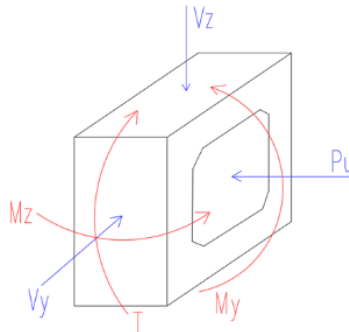
Gambar 4.77 Desain Penulangan Kolom Pylon Daerah Luar Sendi Plastis

4.7.2. Upper Cross Beam

4.7.2.1. Perencanaan Upper cross beam

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 10.2

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa.



Gambar 4.78 Koordinat Upper Cross Beam

Section ID: 7

Name: Upper Cross Beam

Material: User DB AISC2K(US)

Sect. Name: []

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC2K(US)

Sect. Name: []

H	3.5	m
B	4.5	m
a	0.5	m
b	0.5	m
t1	0.7	m
t2	0.7	m
t3	0	m

☒ Consider Shear Deformation.

Offset: Center-Center

Change Offset...

Gambar 4.79 Section Properties Penampang Upper Cross Beam

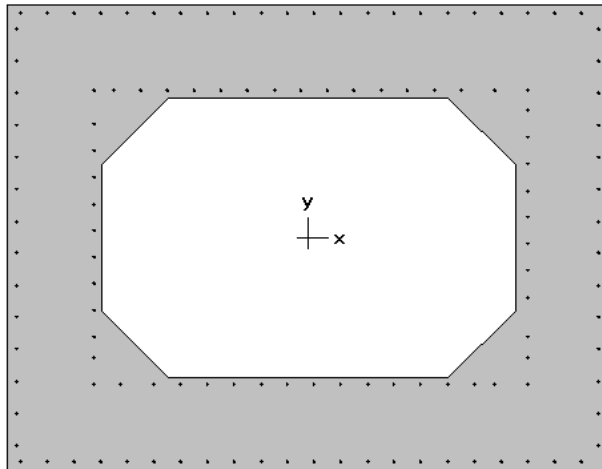
4.7.2.2. Penulangan Lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

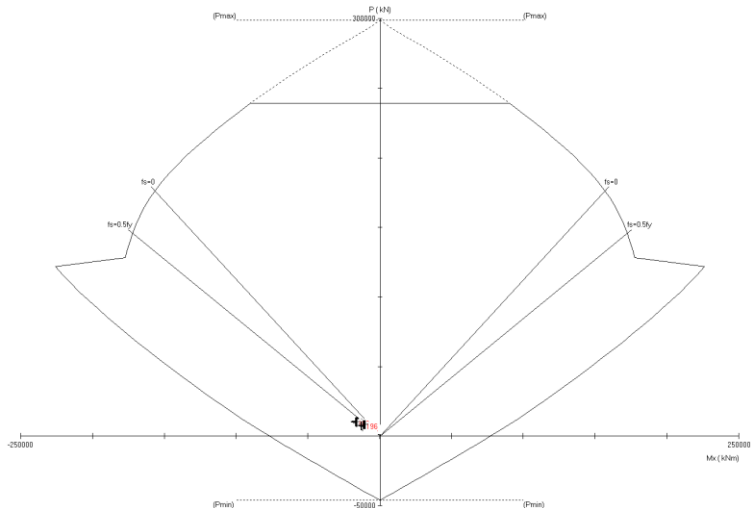
$$10780 < 48700 \quad (\text{Maka tekan diabaikan})$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.80**.

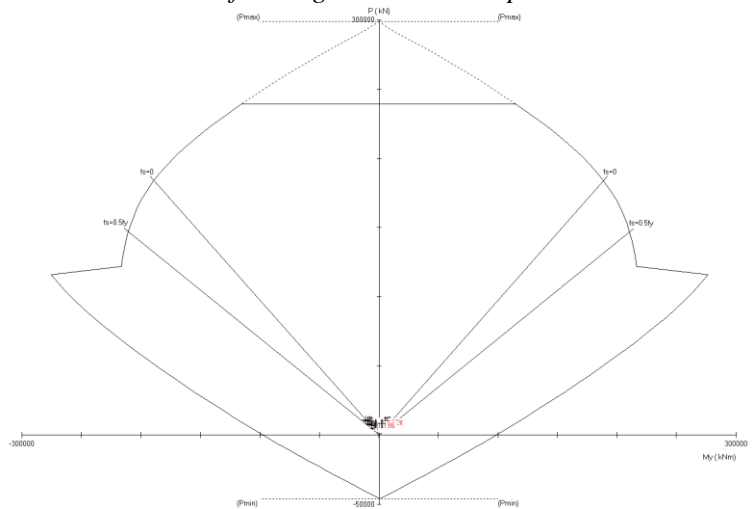


4500 x 3500 mm
1.32% reinf.

Gambar 4.80 Desain Penampang Dan Tulangan Longitudinal Balok Pada Program Bantu Spcolumn



Gambar 4.81 Grafik Diagram Interaksi SpColumn Arah X



Gambar 4. 82 Grafik Diagram Interaksi Spcolumn Arah Y

Dari hasil analisa didapat :

126 buah D36 (1,32 %)

$$A_s = 128187,36 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{\frac{n - 1}{20 - 1}}$$

$$= \frac{4500 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 20 \cdot 36}{20 - 1}$$

$$= 189,26 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol jarak antar tulangan y

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{\frac{n - 1}{14 - 1}}$$

$$= \frac{3500 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 14 \cdot 36}{14 - 1}$$

$$= 216,31 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Dipakai tulangan lentur 126D36

4.7.2.3. Penulangan Geser

1. Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja

SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 4360 \cdot 1260$$

$$= 6603755,082 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 6603755,082$$

$$= 5613191,82 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 5613 \text{ kN} < V_{u_y} = 2202 \text{ kN (OK)}$$

Maka dipasang tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser
- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 4,5 m (Menentukan)
2. 1/6 Tinggi Kolom = 3,1 m
3. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

1. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 1400 = 350 \text{ mm}$
2. $6 d_b = 6 \times 36 = 216 \text{ mm}$
3. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
4. $S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0.5 \times (1400 - 2 \times (70 + 22/2)))}{3} \right) = 10,33 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

$A_{sh\min}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut:

$$b_{cy} = 1400 - 70 - 2 \times 22 = 1286 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 1260 \times 4360 = 5493600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 707,890 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} = 1446,75 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 6D22-100 ($A_s = 2279,64 \text{ mm}^2 > 1446,75 \text{ mm}^2$)

- Daerah Luar Sendi Plastis

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- $\frac{1}{2}$ dimensi kolom terkecil = $1400/2 = 700 \text{ mm}$
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$A_{v\min} = 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3})$$

$$= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{1260 \cdot 288}{400}$$

$$= 397,722 \text{ mm}^2$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 1260 \cdot 288) / 400 = 317,52 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 397,722 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = 317,52 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Maka dipasang sengkang 4D22-250 dengan $A_s = 1519,76 \text{ mm}^2$

2. Arah Z

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja

SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 3360 \cdot 1260$$

$$= 5089132,357 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 5089132,357$$

$$= 4325762,503 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 4326 \text{ kN} > V_{u_z} = 6414 \text{ kN} \quad \textbf{(NOT OK)}$$

Maka perlu tulangan geser

- Perhitungan tulangan geser

- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 4,5 m (Menentukan)
2. $1/6$ Tinggi Kolom = 3,1 m
3. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

1. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 1400 = 350 \text{ mm}$
2. $6 d_b = 6 \times 36 = 216 \text{ mm}$
3. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$

$$4. S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0.5x(1400 - 2x(70 + 22/2)))}{3} \right) \\ = 10,33 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

Ash_{min} sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cy} = 1400 - 70 - 2 \times 22 = 1286 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 1260 \times 3360 \\ = 4233600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 759,097 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} = 1446,75 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 6D22-100 (As = 2279,64 mm² > 1446,75 mm²)

- Daerah Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$V_s = V_u / \phi - V_c \\ = 6414 / 0,85 - 4326 \\ = 2456,85 \text{ kN}$$

Desain tulangan geser

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$h_{eff} = 3360 \text{ mm}$$

maka,

$$A_v = n \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2 \\ = 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 22^2 \\ = 1519,76 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1519,76 \cdot 400 \cdot 3360}{2456,85} \\
 &= 831,37 \text{ mm} \\
 &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan

Syarat jarak tulangan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 1400/2 = 700 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

Kontrol :

$$s_{maks} = 288 \text{ mm} > s = 250 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan Sengkang 4D22-250

4.7.2.4 Penulangan torsi

Desain tulangan torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 9740000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(4500+3500) = 16000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 T_n &= 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{9740000^2}{16000} \right) \\
 &= 2958 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T = 13829 \text{ kNm} < T_n = 2958 \text{ kNm} \quad (\text{Not OK})$$

Perlu tulangan torsi

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$\begin{aligned}
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= 13829,02 / 0,85 \\
 &= 16269,44 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot (4338 \cdot 3338) \\
 &= 14480244 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} A_t/s &= \frac{T_n}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{16269435294,12}{2.14480244.400 \cdot \cot 45} \\ &= 1,652 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7}) \\ &= 1,652 \cdot (2 \cdot (3338 + 4338)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45 \\ &= 25366,038 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph/8 = 1919 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D36

$$\begin{aligned} A_s &= 0.25\pi D^2 \\ &= 1017,36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_l / A_s \\ &= 26 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal 26D36

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{T_n \cdot s}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\ &= 415,932 \end{aligned}$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph/8 = 1919 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D22

$$\begin{aligned}
 n &= 2 \\
 A_s &= 2.0,25.\pi D^2 \\
 &= 2.0,25.\pi.22^2 \\
 &= 759,88 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s = 759,88 \text{ mm}^2 < A_t = 415,93 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

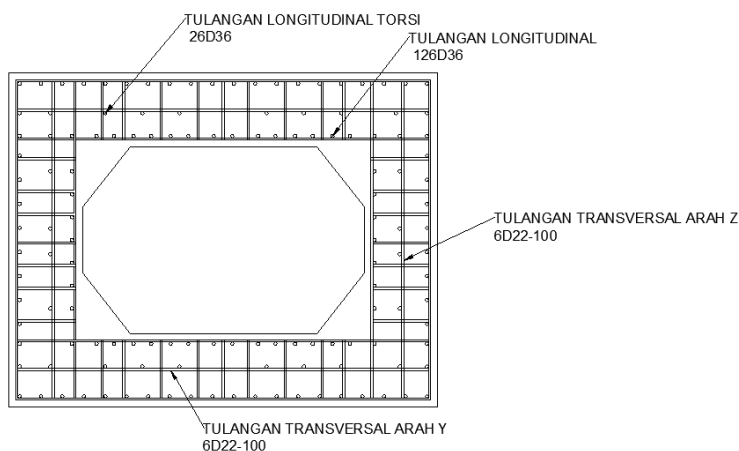
Dipakai tulangan torsi transversal 2D22-300 dengan $A_s = 759,88 \text{ mm}^2$

Rekapitulasi Penulangan:

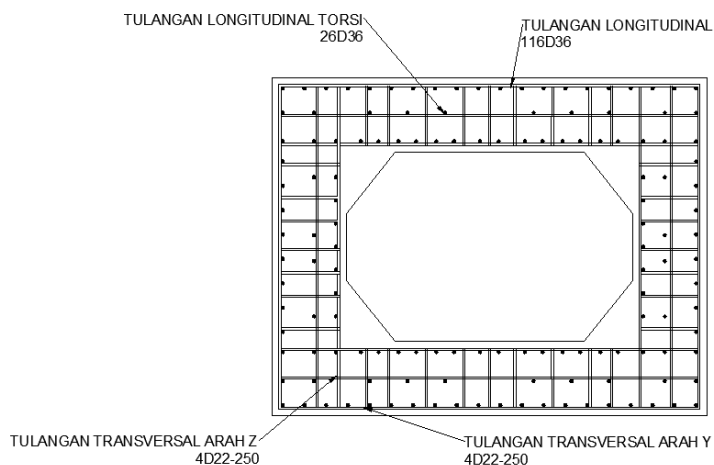
Tabel 4.34 Rekapitulasi Penulangan Upper Cross Beam

Tulangan Longitudinal	126D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Torsi Longitudinal	26D36
Tulangan Torsi Transversal	2D22-300

Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.83** dan **Gambar 4.84**.



Gambar 4.83 Desain penulangan Upper cross beam Sendi Plastis



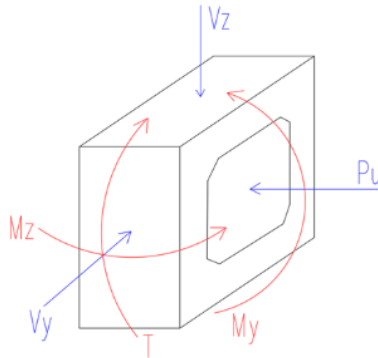
Gambar 4.84 Desain Penulangan Upper Cross Beam Luar Sendi Plastis

4.7.3. *Lower Cross Beam*

4.7.3.1. Perencanaan Lower cross beam

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 4.85 dan Gambar 4.86.

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa.



Gambar 4.85 Koordinat Lower cross beam

Section ID: 8

Name: Lower Cross Beam

Material: AISC2K(US)

Sect. Name:

Built-Up Section: ☒

Get Data from Single Angle:

DB Name: AISC2K(US)

Sect. Name:

H: 3.5 m

B: 4.5 m

a: 0.5 m

b: 0.5 m

t1: 0.7 m

t2: 0.7 m

t3: 0 m

Number of Cell: 1

Offset: Center-Center

Change Offset ...

Consider Shear Deformation: ☒

Gambar 4.86 Section Properties Penampang Lower Cross Beam

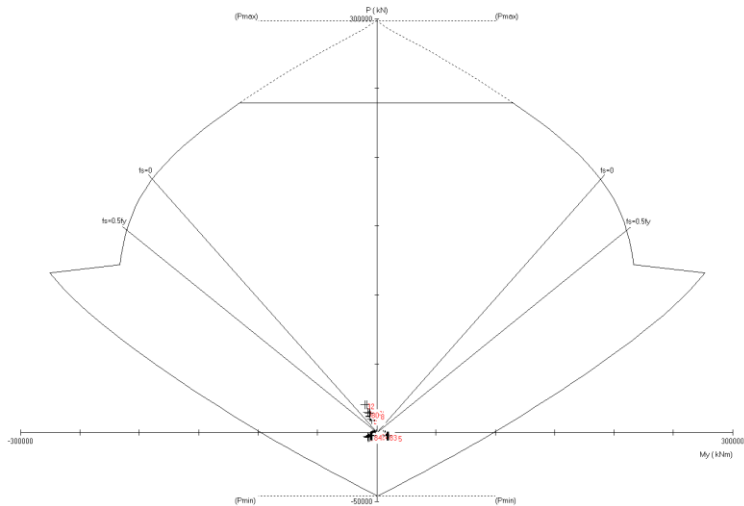
4.7.3.2. Penulangan Lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

$$15499,74 < 48700 \quad (\text{Maka tekan diabaikan})$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22 dan D25. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.86**



Gambar 4.89 Grafik Diagram Interaksi SpColumn Arah Y

Dari hasil analisa didapat:

126 buah D36 (1,32 %)

$A_s = 128187,36 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{4500 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 20 \cdot 36}{20 - 1}$$

$$= 189,26 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol jarak antar tulangan y

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{3500 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 25 - 14 \cdot 36}{14 - 1}$$

$$= 216,31 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Dipakai tulangan lentur 126D36

Dari grafik dapat kita lihat bahwa penampang *lower cross beam* mengalami tension maka perlu di cek crack yang terjadi.

- Kontrol Crack Beton

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A_g} \\ &= \frac{3418250 \text{ N}}{9740000 \text{ mm}^2} \\ &= 0,3509 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}fr &= 0,62 \lambda \sqrt{f'c'} \\ &= 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \\ &= 4,384 \text{ mpa}\end{aligned}$$

Maka $fr > \sigma$, tidak terjadi crack pada beton

4.7.3.3. Penulangan Geser

1. Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja
SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f'c'}b d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 4360 \cdot 1260 \\ &= 6603755,082 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,85 \cdot 6603755,082 \\ &= 5613191,82 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 5613 \text{ kN} > V_{u_y} = 3298 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Maka dipasang tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 4,5 m
2. 1/6 Tinggi Kolom = 5,5 m (Menentukan)

$$3. \quad 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$$

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

$$\begin{aligned} 1. \quad \frac{1}{4} b_{\text{kolom}} &= \frac{1}{4} \times 1400 = 350 \text{ mm} \\ 2. \quad 6 d_b &= 6 \times 36 = 216 \text{ mm} \\ 3. \quad 100 \text{ mm} &\leq S \leq 150 \text{ mm} \\ 4. \quad S_o &= 100 + \left(\frac{350 - (0.5x(4500 - 2x(70 + 25/2)))}{3} \right) = \\ &10,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

$A_{sh\min}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cy} = 1400 - 70 - 2 \times 22 = 1286 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= 1260 \times 4360 \\ &= 5493600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 707,890 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} = 1446,75 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 6D22-100 ($A_s = 2279,64 \text{ mm}^2 > 1446,75 \text{ mm}^2$)

- Daerah Luar Sendi Plastis

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = $8.36 \text{ mm} = 288 \text{ mm}$
- 24D sengkang = $24.22 \text{ mm} = 528 \text{ mm}$
- $\frac{1}{2}$ dimensi kolom terkecil = $1400/2 = 700 \text{ mm}$
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v\min} &= 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{1260 \cdot 288}{400} \\ &= 397,722 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35.bw.s)/f_y = (0,35.1260.288) / 400 = 317,52 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 397,722 \text{ mm}^2 > (0,35.bw.s)/f_y = 317,52 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Maka dipasang sengkang 4D22-250 dengan $A_s = 1519,76 \text{ mm}^2$

2. Arah Z

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja

SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b d \\ &= 0,17.1.\sqrt{50}.3360.1260 \\ &= 5089132,357 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85.5089132,357 \\ &= 4325762,503 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 4326 \text{ kN} < V_{u_z} = 10,443 \text{ kN} \quad \textbf{(NOT OK)}$$

Maka perlu tulangan geser

- Perhitungan tulangan geser

- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

1. Dimensi terbesar kolom = 4,5 m
2. 1/6 Tinggi Kolom = 5,5 m (Menentukan)
3. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

1. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 1400 = 350 \text{ mm}$
2. $6 d_b = 6 \times 36 = 216 \text{ mm}$
3. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
4. $S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0,5x(1400 - 2x(70 + 25/2)))}{3} \right) = 10,33 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

$A_{sh_{min}}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cy} = 1400 - 70 - 2 \times 22 = 1286 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 1400 \times 3360 \\ = 4233600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 759,097 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} = 1446,750 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 6D22-100 ($A_s = 2279,64 \text{ mm}^2 > 1446,750 \text{ mm}^2$)

- Daerah Luar Sendi Plastis

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$V_s = V_u / \phi - V_c \\ = 10443 / 0,85 - 4326 \\ = 7197,149 \text{ kN}$$

Desain tulangan geser

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$h_{eff} = 3360 \text{ mm}$$

maka,

$$A_v = n \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2 \\ = 4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 22^2 \\ = 1519,76 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ = \frac{1519,76 \cdot 400 \cdot 3360}{7197,149} \\ = 283,8 \text{ mm}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan

Syarat jarak tulangan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 1400/2 = 700 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

Kontrol :

$$s_{maks} = 288 \text{ mm} > s = 250 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan Sengkang 4D22-250

4.7.3.4. Penulangan Torsi

Desain tulangan torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 9740000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(4500+3500) = 16000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} T_u &= 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{9740000^2}{16000} \right) \\ &= 2957,87 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T = 2957,87 \text{ kNm} < T_n = 6869 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Perlu tulangan torsi

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$\begin{aligned} T_n &= T_u / \phi \\ &= 6869 / 0,85 \\ &= 8080,85 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot (4338 \cdot 3338) \\ &= 14480244 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{2 A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$A_t / s = \frac{T_n}{2 A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$= \frac{8080847058,82}{2.14480244.400.cot45}$$

$$= 0,82067 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7})$$

$$= 0,82067 \cdot (2 \cdot (3338 + 4338)) \cdot \frac{400}{400} \cdot cot^2 45$$

$$= 12599,02844 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1919 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D36

$$A_s = 0.25\pi D^2$$

$$= 1017,36$$

$$n = A_l / A_s$$

$$= 13 \text{ buah}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal 13D36

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot cot \theta \text{ maka}$$

$$A_t = \frac{T_n \cdot s}{2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot cot \theta}$$

$$= 172,157$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1919 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D22

$$n = 1$$

$$A_s = 1.0,25 \cdot \pi D^2$$

$$= 1.0,25 \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$= 379,94 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s = 379,94 \text{ mm}^2 < A_t = 172,157 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

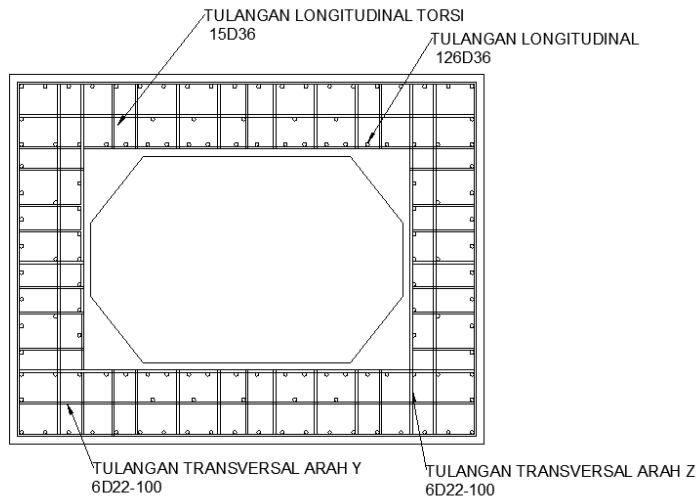
Dipakai tulangan torsi transversal D22-300 dengan $A_s = 379,94 \text{ mm}^2$

Rekapitulasi Penulangan:

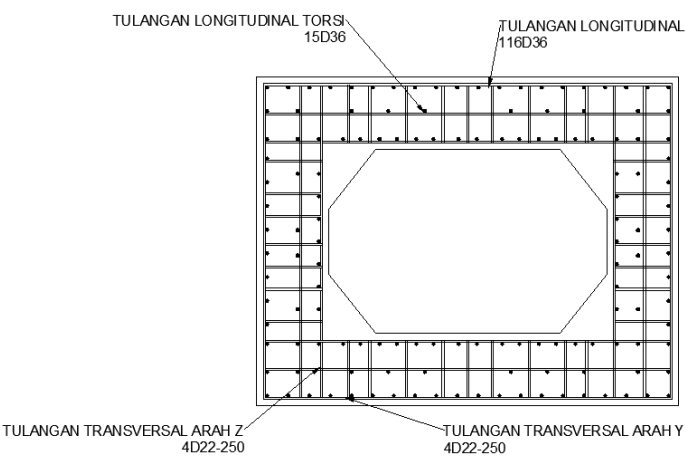
Tabel 4.35 Rekapitulasi Penulangan Lower Cross Beam

Tulangan Longitudinal	126D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Torsi Longitudinal	13D36
Tulangan Torsi Transversal	D22-300

Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.90** dan **Gambar 4.91**



Gambar 4.90 Desain penulangan Lower cross beam Sendi Plastik



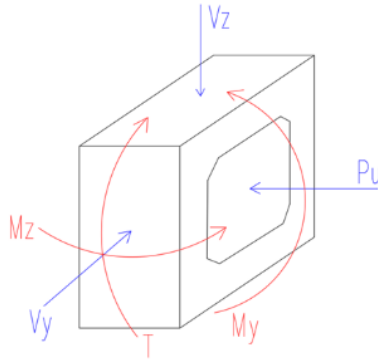
Gambar 4.91 Desain Penulangan Lower Cross Beam Luar Sendi Plastik

4.7.3. *Stroot*

4.7.3.1. Perencanaan Stroot

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 10.2

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa.



Gambar 4.92 Koordinat Lower Cross Beam

Section Data

DB/User

Section ID: 11

Name: Stroot

Material: R-Octagon

DB: AISC2K(US)

Sect. Name:

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC2K(US)

Sect. Name:

Dimensions (m):

H	2	m
B	3	m
a	0.2	m
b	0.2	m
t1	0.7	m
t2	0.7	m
t3	0	m

Number of Cell: 1

Offset: Center-Center

☒ Consider Shear Deformation.

[Change Offset ...](#)

Gambar 4.93 Section Properties Penampang Stroot

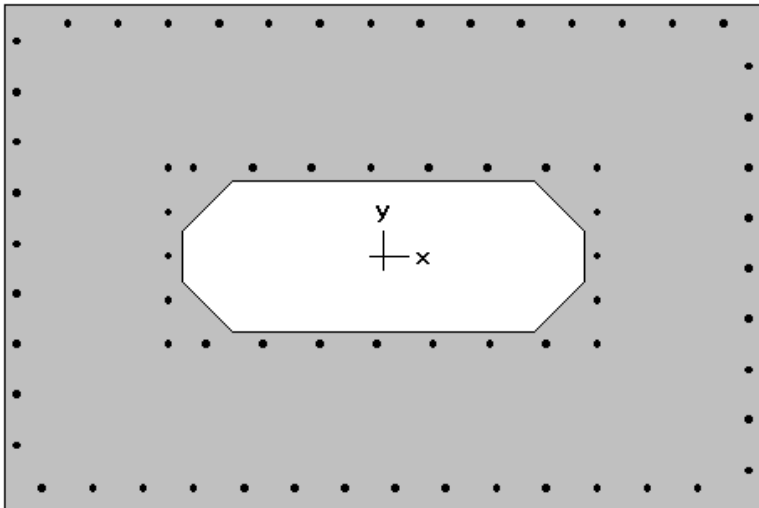
4.7.3.2. Penulangan lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

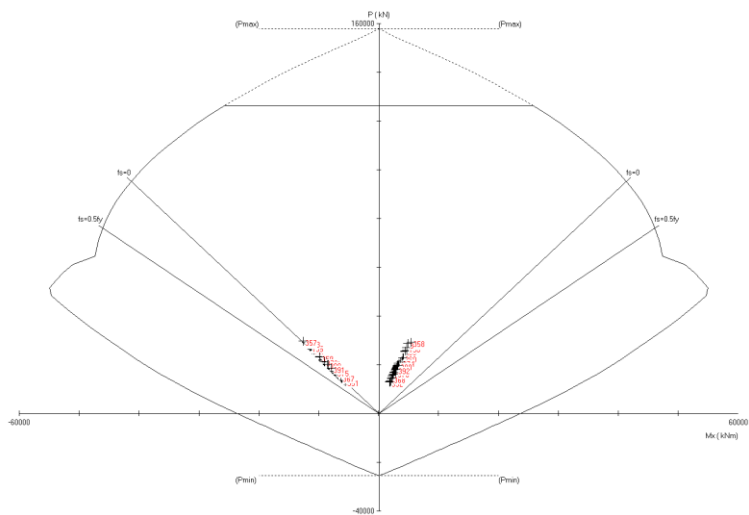
$$25521720 < 25600000 \quad (\text{Maka tekan diabaikan})$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22 dan D25. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.94**.

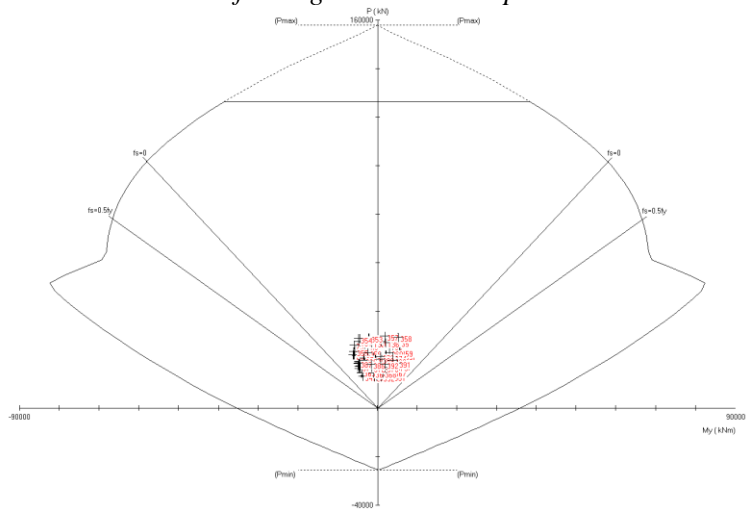


3000 × 2000 mm
1.39% reinf.

Gambar 4.94 Desain penampang dan tulangan longitudinal balok pada program bantu spColumn



Gambar 4.95 Grafik diagram interaksi SpColumn arah X



Gambar 4.96 Grafik diagram interaksi SpColumn arah Y

Dari hasil analisa didapat :

70 buah D36 (1,39 %)

$$A_s = 71215,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{\frac{n - 1}{3000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 14 \cdot 36}}$$

$$= \frac{14 - 1}{177,85 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}}$$

Kontrol jarak antar tulangan y

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{\frac{n - 1}{2000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 25 - 9 \cdot 36}}$$

$$= \frac{9 - 1}{186,50 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}}$$

Dipakai tulangan lentur 70D36

4.7.3.3 Penulangan geser

3. Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja
SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 2860 \cdot 1400$$

$$= 4331820,994 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 4331820,994$$

$$= 3682047,845 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 3682 \text{ kN} > V_{u_y} = 456 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Maka dipasang tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

4. Dimensi terbesar kolom = 3 m (Menentukan)
5. $1/6$ Tinggi Kolom = 1,9 m
6. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

5. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 1400 = 350 \text{ mm}$
6. $6 d_b = 6 \times 36 = 216 \text{ mm}$
7. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
8. $S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0.5 \times (1400 - 2 \times (70 + 22/2)))}{3} \right) = 10,33 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

Ash_{min} sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cy} = 1400 - 70 - 2 \times 22 = 1286 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 1260 \times 2860 = 3603600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 798,129 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} = 1446,750 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 4D22-100 ($A_s = 1519,76 \text{ mm}^2 > 1446,750 \text{ mm}^2$)

- Daerah Luar Sendi Plastis

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm

- $\frac{1}{2}$ dimensi kolom terkecil = $1400/2 = 700$ mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{1260 \cdot 288}{400} \\ &= 397,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 1260 \cdot 288) / 400 = 317,52 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 397,72 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = 317,52 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipasang sengkang 2D22-250 dengan $A_s = 759,88 \text{ mm}^2$

4. Arah Z

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja
SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 1860 \cdot 1260 \cdot 2 \\ &= 2817198,269 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,85 \cdot 2817198,269 \\ &= 2394618,529 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 2395 \text{ kN} < V_{u_z} = 1449 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Maka dipasang tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

- Daerah sendi plastis

Sesuai dengan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.1, untuk daerah sendi plastis dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dimana persyaratan l_0 adalah sebagai berikut :

4. Dimensi terbesar kolom = 3 m (Menentukan)
5. $1/6$ Tinggi Kolom = 1,9 m
6. 450 mm = 0,45 m

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.6.4.3

5. $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 2000 = 500 \text{ mm}$
6. $6 d_b = 6 \times 36 = 216 \text{ mm}$
7. $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
8. $S_o = 100 + \left(\frac{350 - (0.5x(1400 - 2x(70 + 22/2)))}{3} \right) = 10,33 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm

$A_{sh\min}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cz} = 1400 - 70 - 2 \times 22 = 1286 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 1260 \times 1860 = 2343600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] = 939,149 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} = 1446,75 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 4D22-100 ($A_s = 1519,76 \text{ mm}^2 > 1446,75 \text{ mm}^2$)

- Daerah Luar Sendi Plastis

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = $8.36 \text{ mm} = 288 \text{ mm}$
- 24D sengkang = $24.22 \text{ mm} = 528 \text{ mm}$
- $\frac{1}{2}$ dimensi kolom terkecil = $1400/2 = 700 \text{ mm}$
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v\min} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{1260 \cdot 288}{400} \\ &= 397,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 1260 \cdot 288) / 400 = 317,52 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 397,72 \text{ mm}^2 > (0,35.b.w.s)/f_y = 317,52 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipasang sengkang 2D22-250 dengan $A_s = 759,88 \text{ mm}^2$

4.7.3.4. Penulangan Torsi

Desain tulangan torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 512000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(3000+2000) = 10000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} T_u &= 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{512000^2}{10000} \right) \\ &= 1308 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T = 4800 \text{ kNm} < T_n = 1308 \text{ kNm} \quad (\text{NOT OK})$$

Perlu tulangan torsi

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$\begin{aligned} T_n &= T_u / \phi \\ &= 4800 / 0,85 \\ &= 5646,48 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot (1838 \times 2838) \\ &= 5216244 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} A_t/s &= \frac{T_n}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{5646482352,94}{2 \cdot 5216244 \cdot 400 \cdot \cot 45} \\ &= 1,59188 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7}) \\ &= 1,59188 \cdot (2 \cdot (1838 + 2838)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45 \\ &= 14887,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1169 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D36

$$A_s = 0.25\pi D^2$$

$$= 1017,36$$

$$n = A_t / A_s$$

$$= 14,633$$

$$= 15 \text{ buah}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal 15D36

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o.A_t.f_y}{s} \cdot \cot\theta \text{ maka}$$

$$A_t = \frac{T_n.s}{2.A_o.f_y \cot\theta}$$

$$= 333,93 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1169 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D22

$$n = 1$$

$$A_s = 1.0.25\pi D^2$$

$$= 379,94 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s = 379,94 \text{ mm}^2 < A_t = 333,93 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

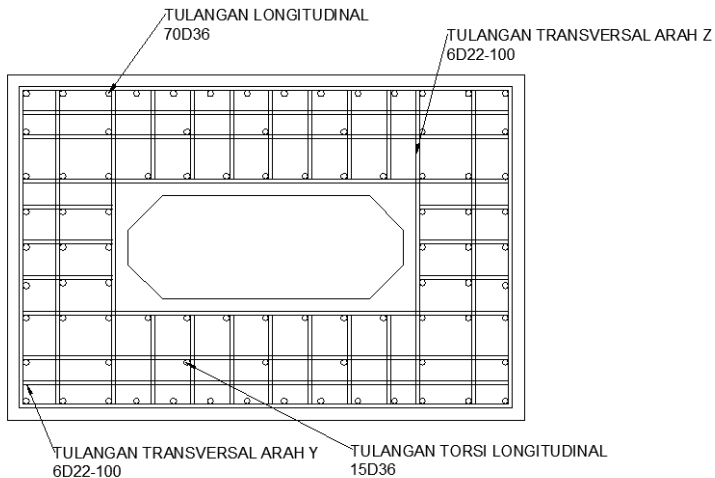
Dipakai tulangan torsi transversal D22-300 dengan $A_s = 379,94 \text{ mm}^2$

Rekapitulasi Penulangan:

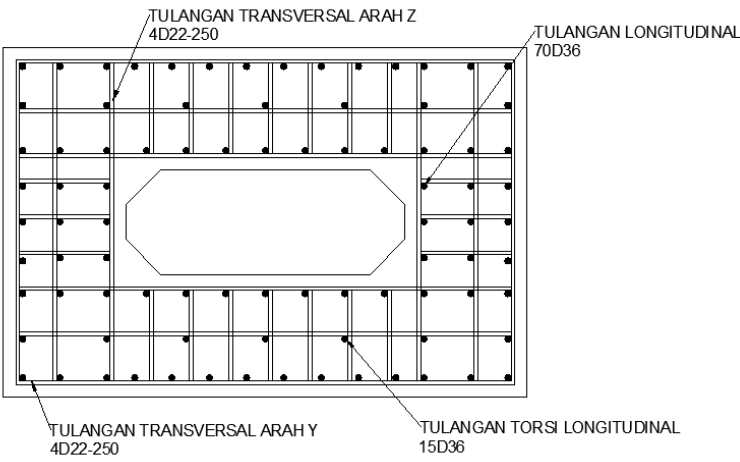
Tabel 4.36 Rekapitulasi Penulangan Stroot

Tulangan Longitudinal	70D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	4D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	2D22-100
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	4D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	2D22-150
Tulangan Torsi Longitudinal	15D36
Tulangan Torsi Transversal	D22-300

Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.97** dan **Gambar 4.98**



Gambar 4.97 Desain penulangan Lower cross beam Sendi Plastis



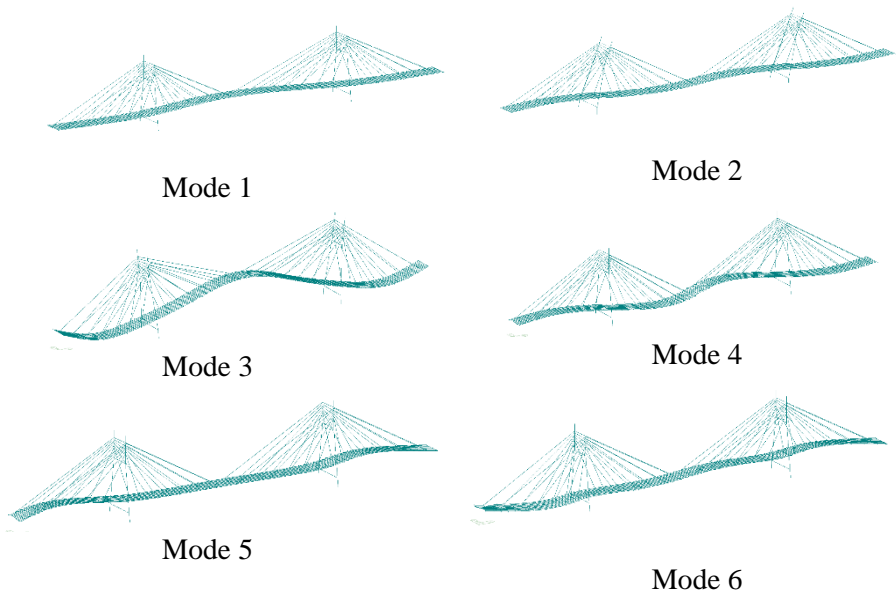
Gambar 4.98 Desain penulangan Lower cross beam Luar Sendi Plastik

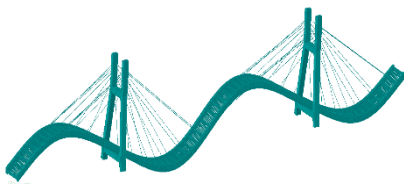
4.8. Perilaku Aerodinamis

Pada jembatan bentang panjang, beban yang mempengaruhi kegagalan struktur adalah efek angin. Kontrol terhadap stabilitas aerodinamis pada jembatan *cable stayed* perlu dilakukan, analisa stabilitas pada desain ini meliputi vortex-shedding (tumpahan pusaran angin) dan *flutter* (efek ayunan).

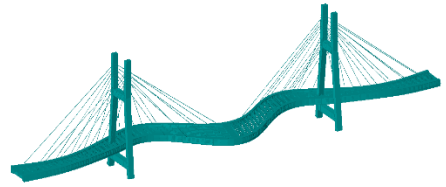
4.8.1. Frekuensi Alami

Frekuensi alami yang dihitung adalah frekuensi lentur (f_B) dan frekuensi torsi (f_T). Dengan program bantu MIDAS CIVIL nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) dan frekwensi alami torsi (f_T) dapat dicari dengan menggunakan modal melalui tahapan mode pada menu result vibration mode shapes. Berikut adalah nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) dan frekwensi alami torsi (f_T) yang didapat dari program bantu MIDAS CIVIL.

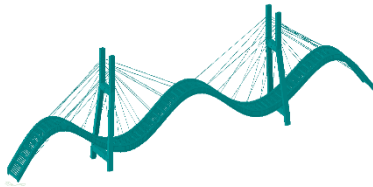




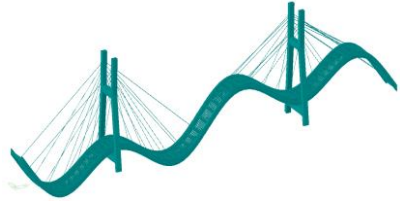
Mode 8



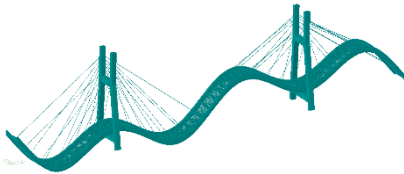
Mode 11



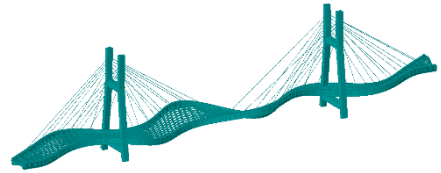
Mode 13



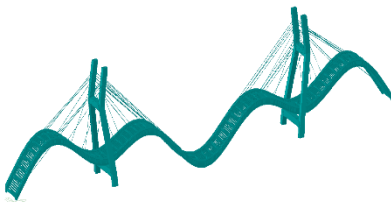
Mode 16



Mode 17



Mode 19

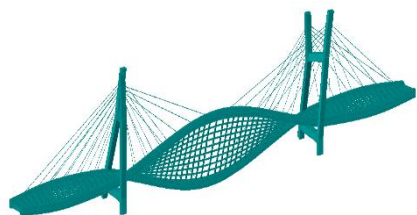


Mode 20



Mode 22

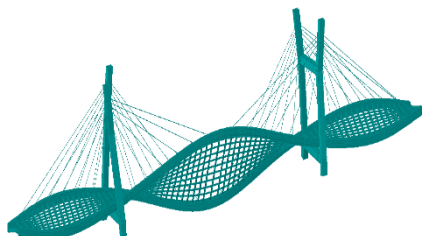
Gambar 4.99 Mode frekuensi lentur f_B



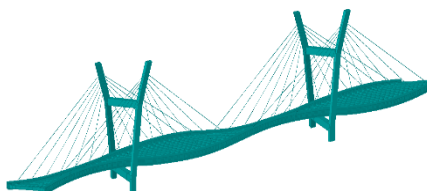
Mode 7



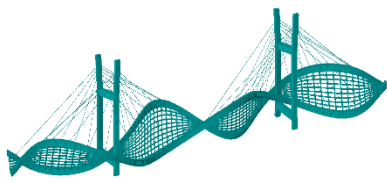
Mode 9



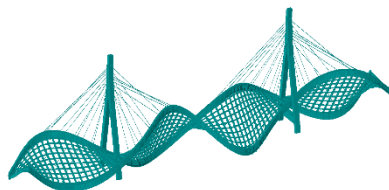
Mode 11



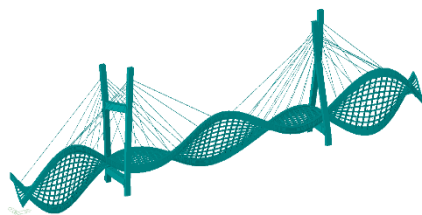
Mode 12



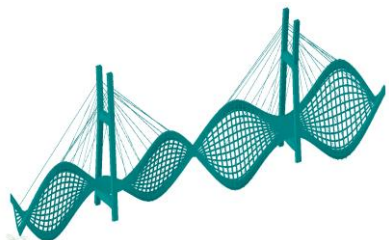
Mode 14



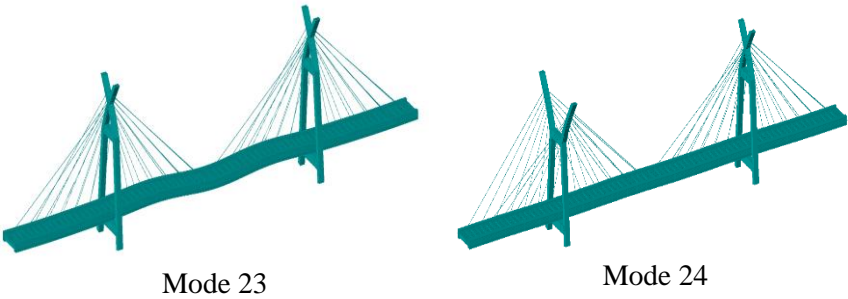
Mode 15



Mode 17



Mode 21



Gambar 4.100 Mode frekuensi torsi f_T

Berikut rekapitulasi nilai frekwensi lentur (f_B) maupun frekwensi torsi (f_T) dari hasil analisa menggunakan program MIDAS CIVIL

Tabel 4.37 Nilai f_B dan f_T

Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Mode
1	2.321591	0.369493	2.706414	Lentur
2	4.765526	0.758457	1.318466	Lentur
3	5.140757	0.818177	1.22223	Lentur
4	5.550413	0.883376	1.132021	Lentur
5	6.20309	0.987252	1.012912	Lentur
6	6.33672	1.00852	0.991552	Lentur
7	8.203631	1.305649	0.765903	Lentur
8	8.431599	1.341931	0.745195	Torsi
9	9.116659	1.450961	0.689198	Torsi
10	9.259245	1.473655	0.678585	Torsi
11	10.202735	1.623816	0.615833	Lentur
12	11.412487	1.816354	0.550554	Lentur
13	11.742145	1.86882	0.535097	Torsi
14	13.420128	2.13588	0.468191	Lentur
15	13.567717	2.159369	0.463098	Torsi
16	14.161505	2.253874	0.443681	Torsi
17	15.112954	2.405301	0.415748	Torsi
18	15.784316	2.512152	0.398065	Torsi
19	16.741241	2.664451	0.375312	Lentur
20	17.039452	2.711913	0.368743	Torsi
21	17.945175	2.856063	0.350132	Torsi
22	18.820382	2.995357	0.33385	Lentur
23	20.375689	3.242892	0.308367	Torsi
24	20.390542	3.245256	0.308142	Lentur



Gambar 4.101 Grafik f_B dan f_T

Dari table diatas dapat diambil bahwa :

Frekuensi Lentur (f_B) = 0,381805 cycle/sec

Frekuensi Torsi (f_T) = 1,396077 cycle/sec

4.8.2. Efek Pusaran Angin (*Vortex-Shedding*)

Pada kecepatan angin tertentu akan terjadi turbulensi atau pusaran angin (*Vortex-Shedding*). Untuk mendapatkan kecepatan angin yang mengakibatkan pusaran angin dapat dihitung dari angka Strouhal dari suatu lantai kendaraan :

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 – 7.11})$$

Dimana :

f_B = frekuensi alami lentur

h = tinggi lantai kendaraan

S = angka strouhal

- 0,20 untuk silinder dengan diameter h

- 0,10-0,20 untuk lantai kendaraan dengan tinggi h

- 0,10 jika udara mengalir pada satu sisi

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal (m/s)

Kecepatan angin (V) dicari dengan menggunakan persamaan angka Strouhal. Digunakan angka Strouhal (s) = 0,2, tinggi lantai kendaraan (h) = 3,5 m

maka,

$$\begin{aligned} V &= \frac{f_B \cdot h}{S} \\ &= \frac{0,381805 \cdot 3,5}{0,2} \\ &= 6,68158 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan cek efek pusaran dengan angka Reynold (Re). Besarnya angka Reynold harus memenuhi persyaratan, nilai Re harus berkisar antara 105 – 107 akibat kecepatan angin yang bekerja. Berikut persamaan untuk angka

$$\text{Reynold. } R_e = \frac{V \cdot B}{\bar{v}}$$

Dimana :

Re = nilai Reynold

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

B = lebar lantai kendaraan

\bar{v} = viskositas kinematik udara (0,15 cm²/detik)

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{V \cdot B}{\bar{v}} \\ &= \frac{6,6815 \cdot 18,125}{0,15 \times 10^{-4}} \\ &= 8073584,9 \end{aligned}$$

Akibat terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (uplift) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} C \times h \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 – 7.13})$$

Dimana :

F_o = Gaya angkat

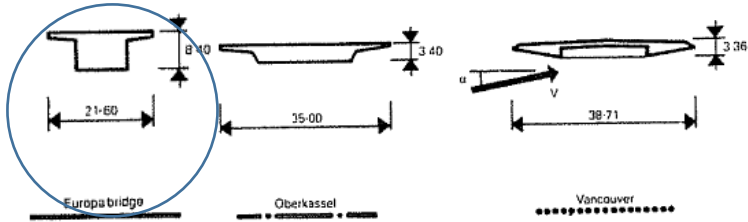
ρ = Density / kerapatan udara = 1,3 kg/m³

V = kecepatan angin berdasarkan angka strouhal

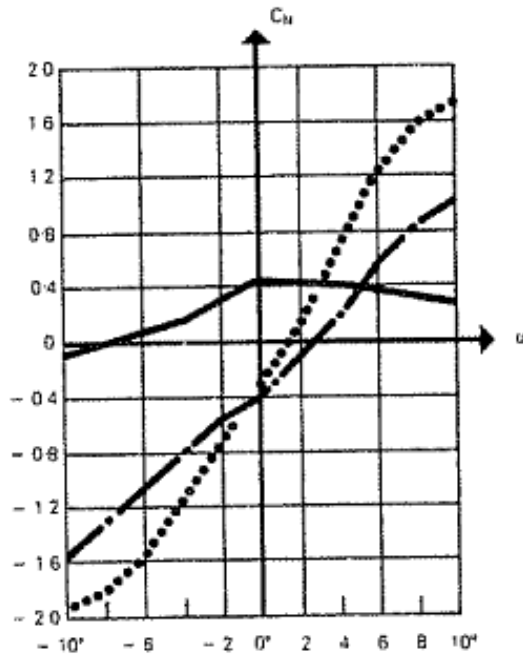
C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan

h = Tinggi lantai kendaraan

besarnya nilai koefisien C dapat dicari dari grafik berikut ini, lihat **Gambar 4.92** dan **Gambar 4.93** :



Gambar 4.102 Macam Penampang Deck



Gambar 4.103 Koefisien C_N

Grafik koefisien C_N diatas merupakan hasil dari tiga bentuk penampang lantai kendaraan yang pernah dibangun. Berdasarkan desain penampang jembatan *cable-stayed* ini, penampang pertama cukup mewakili bentuk penampang lantai kendaraan yang didesain. Dengan α diambil sebesar 0° , maka akan didapat nilai koefisien C_N sebesar 0,4. Tetapi pada nyatanya, angin tidak selalu mengenai lantai kendaraan dalam arah horizontal secara sempurna. Nilai α dapat berubah berkisar antara 3° sampai dengan 9° , maka sebagai pembanding diambil nilai α rata-rata sebesar 6° . Sehingga didapat nilai C_N sebesar 0,38

$$F_o = 1,3 \cdot \frac{6,6815^2}{2} \cdot 0,38 \cdot 3,5 = 38,59 \text{ N/m}$$

Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\hat{v} = \frac{\pi}{\delta} \frac{F_o}{m} v_{\max}$$

Dimana :

- \hat{v} = Amplitudo osilasi
- δ = penurunan logaritmik (koefisien peredaman)
- F_o = Gaya angkat
- V_{\max} = deformasi statis maksimum struktur karena berat sendiri dalam arah yang ditinjau
- m = Berat sendiri lantai kendaraan per meter lari

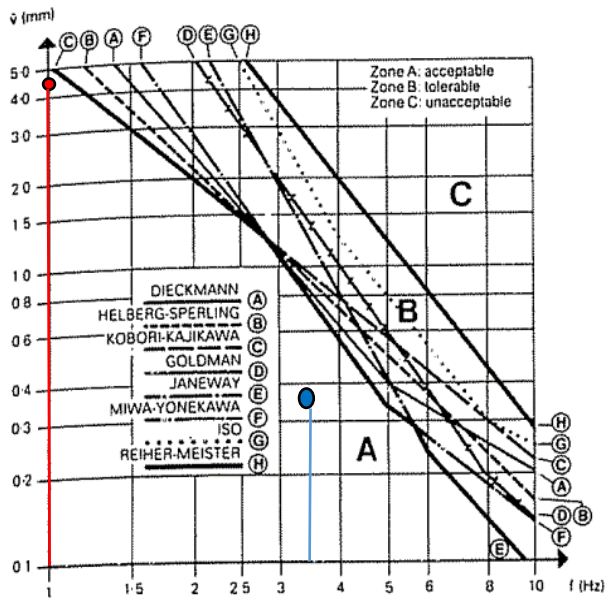
Dari hasil analisa dengan program MIDAS didapat nilai v_{\max} yang terjadi akibat berat sendiri struktur sebesar 0,32 m. Penurunan logaritmik (koefisien peredam) ditentukan 0,05. Berat sendiri lantai kendaraan adalah 182,47 kN/m

$$\begin{aligned} \hat{v} &= \frac{\pi}{\delta} \frac{F_o}{m} v_{\max} \\ &= \frac{\pi}{0,05} \frac{38,594}{182,47} \cdot 0,32 \\ &= 4,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Bila perlu, perhitungan dapat dilanjutkan dengan mencari nilai percepatan getaran yang dihasilkan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \hat{v} &= 4\pi^2 \times f b^2 \times \hat{v} \\
 &= 4\pi^2 \times 0,3818^2 \times 4,25 \\
 &= 0,0244365 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

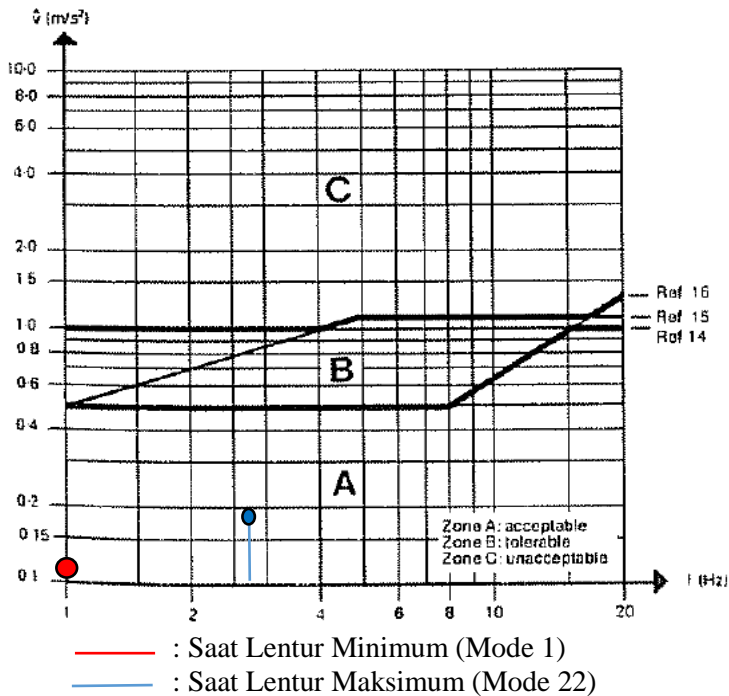
Digunakan f_B maka dapat diketahui klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (v) dengan melakukan plot nilai v dan f_B pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.104.



— : Saat Lentur Minimum (Mode 1)

— : Saat Lentur Maksimum (Mode 22)

Gambar 4.104 Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan amplitudo
Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (\hat{v}) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai \hat{v} dan f_B pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.105



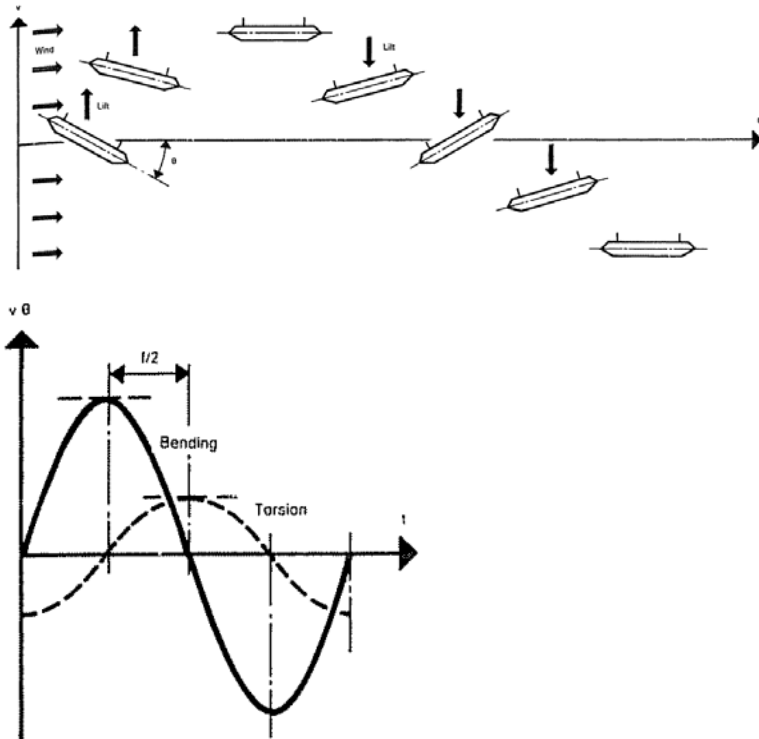
Gambar 4.105 Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan percepatan

Dari kedua grafik diatas didapat kesimpulan bahwa desain jembatan ini berada pada area (A), yang berarti bahwa desain dapat diterima (acceptable) baik berdasarkan nilai amplitudo (v) vs frekwensi alami lentur balok (f_B) maupun nilai percepatan getaran (\hat{v}) vs frekwensi alami torsi (f_T).

4.8.3. Efek Ayunan (*Flutter*)

Fenomena ini terjadi pada kecepatan kritis yang menimbulkan ayunan lentur (f_B) dan ayunan torsi (f_T), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Untuk desain yang ideal nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase.

Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada **Gambar 4.97** berikut ini.



Gambar 4.106 Efek Flutter Dengan Perbedaan Fase $\pi/2$

Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis ($V_{\text{kritis teoritis}}$), dapat digunakan metode KLOEPPEL, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{kritis teoritis}} = 2\pi \cdot f_B \cdot b$$

$$b = \frac{1}{2} \text{ lebar lantai kendaraan}$$

Dimana nilai $V_{\text{kritis teoritis}}$ dapat dicari secara grafis dan tergantung dari tiga besaran berikut ini :

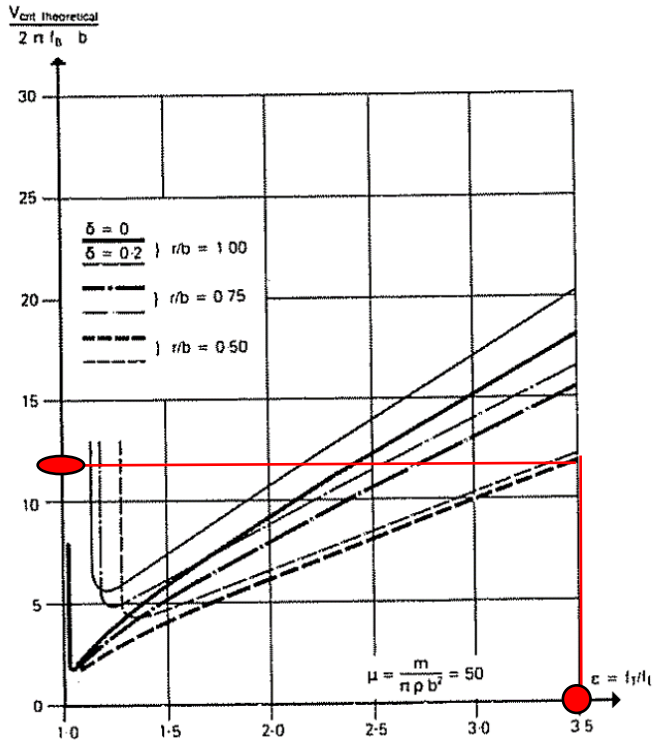
$$1. \mu = \frac{m}{\pi p b^2}$$

Dimana :

m = berat sendiri lantai kendaraan per meter lari

$$\begin{aligned}
 &= 182,47 \text{ kN/m} \\
 \rho &= \text{berat volume udara} \\
 &= 1,3 \text{ kg/m}^3 \\
 b &= \text{setengah lebar lantai kendaraan} \\
 &= 9,0625 \text{ m} \\
 \mu &= \frac{182,47}{\pi \cdot 1,3 \cdot 9,0625^2} \\
 &= 54,428 \\
 2. \quad \frac{\delta}{b} &= 0,05/9,0625 \\
 &= 0,005517 \\
 3. \quad \varepsilon &= f_T/f_B \\
 &= 1,39607 / 0,3818 \\
 &= 3,424 \\
 4. \quad \delta &= 0,05
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai kecepatan kritis teoritis perlu dicari nilai faktor pengali yang didapatkan dari Gambar 7.47 dengan melakukan plot nilai perbandingan frekwensi torsi dengan frekwensi lentur (f_T/f_B).



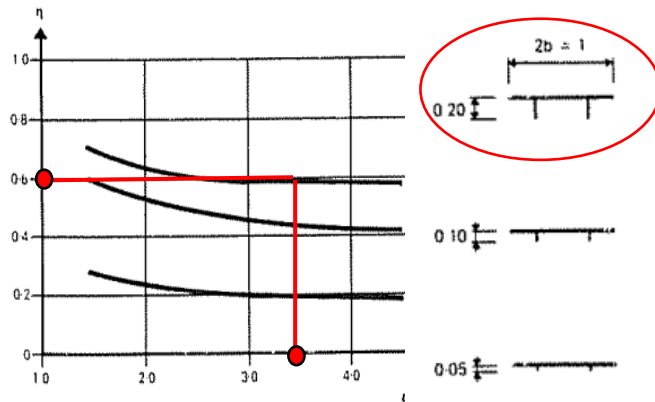
Gambar 4.107 Kecepatan Kritis Teoritis Untuk Flutter
 Dari nilai $\epsilon = 3,5$ maka didapat nilai

$$\frac{V_{crit\ theoretical}}{2 \times \pi \times f_B \times b} = 12$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} V_{crit\ theoretical} &= 12 (2 \times \pi \times f_B \times b) \\ &= 6 (2 \times \pi \times 0,3818 \times 9,0625) \\ &= 260,753 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Besar kecepatan kritis teoritis ini harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis aktual menggunakan grafik (Walther, 1999).



Gambar 4.108 Grafik Koefisien Koreksi

Dari grafik pada Gambar 4.108 dengan menyesuaikan penampang lantai kendaraan yang dipakai mendekati, didapatkan nilai koreksi $\eta = 0,6$

$$V_{\text{crit actual } \alpha = 0} = 0,6 \times 260,753 = 156,452 \text{ m/s}$$

Pada kenyataannya, angin tidak selalu menabrak jembatan dalam arah horisontal sempurna. Terkadang terdapat sudut α yang berkisar antara 3° sampai 9° (rata-rata 6°). Maka dari itu, diperlukan lagi koreksi. Untuk lantai kendaraan dengan penampang aerodinamis, koreksi ini sebesar $\frac{1}{3}$ (0,33) untuk box section *deck* (Walther, 1999).

$$\begin{aligned} \eta (\alpha = \pm 6^\circ) &= 0,33 \times \eta (\alpha = \pm 6^\circ) \\ &= 0,33 \times 0,6 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{crit actual } \alpha = \pm 6^\circ} &= \eta (\alpha = \pm 6^\circ) \times V_{\text{crit theoretical}} \\ &= 0,2 \times 156,45 \text{ m/s} \\ &= 52,150 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Hal ini berarti, bila angin di lapangan bertiup dengan kecepatan 52,150 m/s, maka akan mulai terjadi efek *flutter*.

Sedangkan untuk perencanaan, telah digunakan kecepatan angin 37,77 m/s, sehingga analisa efek *flutter* memenuhi. Analisa ini perlu dilanjutkan dengan pembuktian dengan memakai model agar didapat hasil yang akurat.

4.9. Analisa Staging

Metode pelaksanaan (*Staging Analysis*) konstruksi jembatan *cable stayed* ini didesain dengan *cantilever method*. Urutan pekerjaannya dimulai dengan pekerjaan *pylon* dari beton bertulang dengan *slip form*, pemasangan gelagar pada sisi *pylon* menggunakan perancah, pemasangan kabel, kemudian pemasangan *form traveler* pada gelagar yang telah terpasang untuk memasang gelagar berikutnya.

Sedangkan untuk metode analisisnya dilakukan dengan metode *demolishing procedure* melalui *backward solution*. Dimulai dari keadaan final jembatan, kemudian dilanjutkan dengan melepas bagian per bagian hingga sampai keadaan awal. Dimana menggunakan program bantu MIDAS/Civil.

4.9.1. Analisa Pembebanan Staging

Pada saat pelaksanaan *staging analysis* beban *deck* jembatan akan dipikul oleh *form traveler* yang kemudian akan disalurkan pada jembatan.

Beban yang dipikul selama tahap pelaksanaan adalah:

- Berat sendiri gelagar per segmen (3m)

$$\begin{aligned}
 q_u &= (\text{Box} + \text{Melintang} + \text{Kantilever}) \times \text{LF} \\
 &= [(7646.685 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} \times 2) + (500.673 \text{ kg/m} \times 16.5 \text{ m}) + \\
 &\quad (65.4 \text{ kg/m} \times 1.5 \text{ m} \times 2)] \times 1,2 \\
 &= 84924,2 \text{ kg} \\
 &= 849,242 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- Beban *form traveler* tipe *overhead triangle* berdasarkan produk Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd.

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1000 \text{ kN} \times \text{LF} \\
 &= 1000 \text{ kN} \times 1,25
 \end{aligned}$$

$$= 1250 \text{ kN}$$

Total beban per segmen saat *staging* sebesar 2099,44 kN

Spesifikasi *form traveler* yang akan digunakan dalam *staging analysis* mengikuti spesifikasi Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd.

Tabel 4.38 Spesifikasi Form Traveler

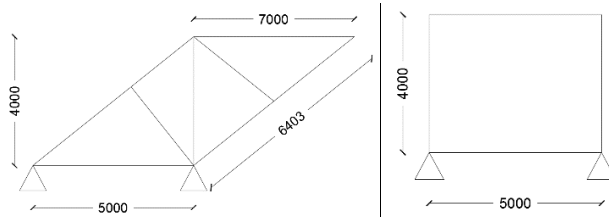
Item	Description		Specification
1	Model		FT-S
2	Capacity		100t ~ 480t
3	Segment Length		3.5m ~ 7.0m
4	Deck Width		5m ~ 35m
5	Bridge Curvature Radius		100m-unlimited
6	Bridge Type		Balance Cantilever Box Girder or Cable Stay
7	Launching Mechanism		Hydraulic
8	Formwork Material		Metal Sheet or Plywood Sheet
9	Shape of Bridge Section		Any shape
10	Production Cycle time		5 days – 7 days depend on site condition, concreting capacity, concrete design, pier height, reinforcement fabrication method etc.
11	Max. Bridge Slope	Longitudinal	7%
		Transverse	5%



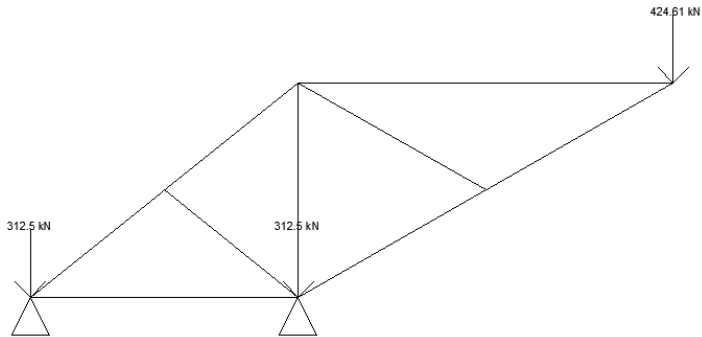
Gambar 4.109 Form Traveler Yang Digunakan

Sebelum beban *staging analysis* diinputkan pada program MIDAS/CIVIL V2011, terlebih dahulu dilakukan analisa distribusi

beban dari *form traveler* ke gelagar dengan menggunakan program bantu SAP 2000.

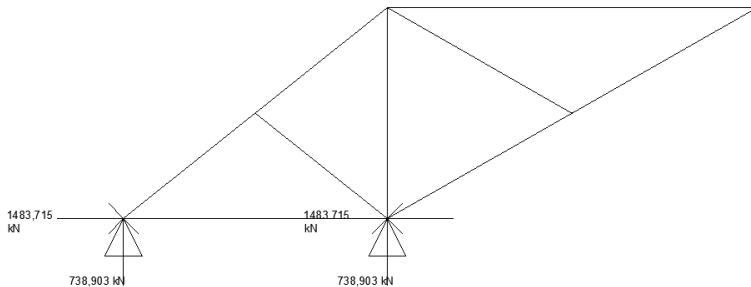


Gambar 4.110 Spesifikasi Form Traveler (Memanjang-Melintang)



Gambar 4.111 Permodelan dan input beban pada form traveler

Dari analisa menggunakan SAP 2000 didapatkan hasil analisa untuk reaksi dari *form traveler* akibat beban rencana yang akan diinputkan ke progam MIDAS/CIVIL sebagai beban pelaksanaan.



Gambar 4.112 Hasil Analisa Reaksi Pada Form Traveler

4.9.2. Pembebanan Kabel

Gaya kabel yang diberikan disesuaikan dengan gaya kabel yang telah dihitung terhadap beban mati saja, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:

Tabel 4.39

Kabel	Preliminary	
S ₆	5930.988	kN
S ₅	5033.749	kN
S ₄	4224.549	kN
S ₃	3888.034	kN
S ₂	3768.492	kN
S ₁	3490.673	kN
M ₁	3608.328	kN
M ₂	3737.84	kN
M ₃	3869.673	kN
M ₄	4496.674	kN
M ₅	5183.818	kN
M ₆	5452.589	kN

4.9.3. Konfigurasi Pembebanan

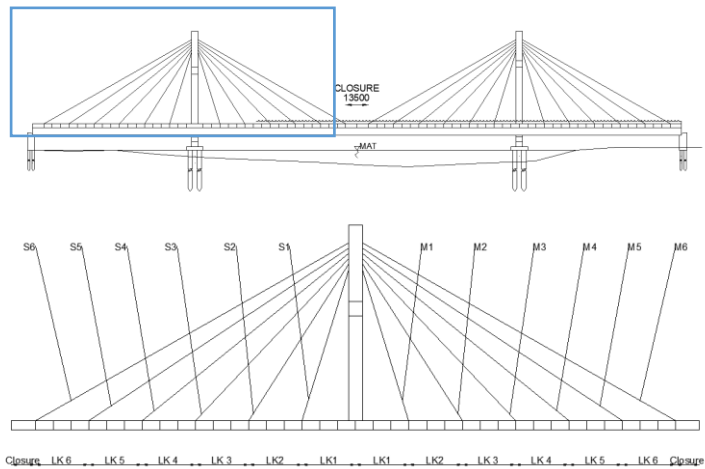
Pada saat pelaksanaan staging analysis beban *deck* jembatan akan dipikul oleh form traveler yang kemudian akan disalurkan pada jembatan. Untuk konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.40 berikut ini

Tabel 4.40 Konfigurasi Pembebanan Untuk Staging Analysis

Kasus	Konfigurasi Beban
1	DL + <i>Form Traveler</i>

4.9.4. Tahapan Analisa Staging

Berikut adalah urutan pelaksanaan *staging analysis* dengan program bantu MIDAS/Civil. Dimana urutan pelaksanaan di lapangan sama dengan urutan analisisnya, namun pelaksanaan di lapangan menggunakan *forward method* sedangkan analisisnya menggunakan *backward solution*. Sebelumnya dilakukan penomoran terlebih dahulu terhadap kabel dan gelagar.

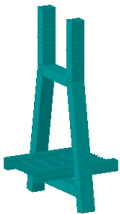


Gambar 4.113 Segmental deck untuk staging analysis pada program bantu MIDAS

1. Pembangunan jembatan dimulai dari strktur *pylon*.



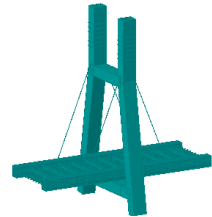
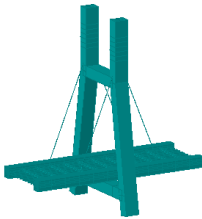
2. Pemasangan gelagar LK1 menggunakan *crane* dan ditempatkan di atas perancah sementara.



3. Pemasangan kabel S1 dan M1



4. Pemasangan gelagar LK2 menggunakan *crane*



5. Pemasangan kabel S2 dan M2



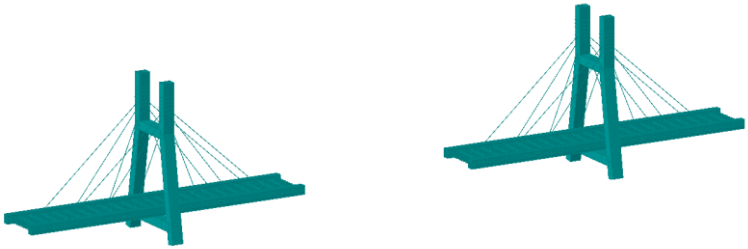
6. Pemasangan gelagar LK3 menggunakan *crane*



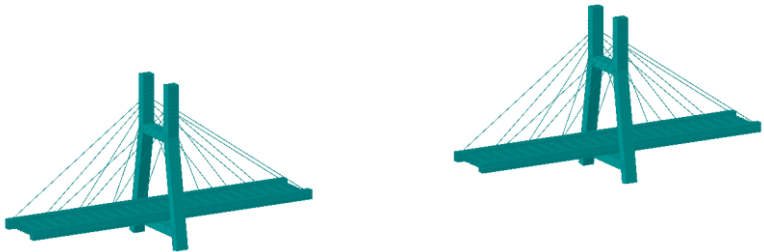
7. Pemasangan kabel S3 dan M3



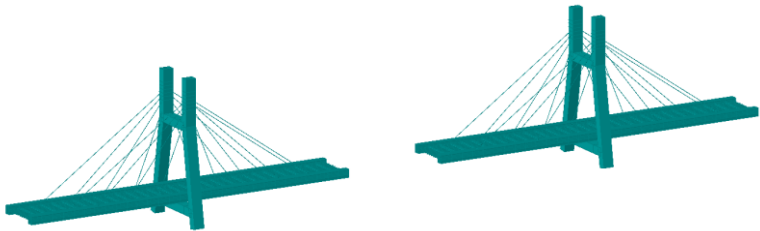
8. Pemasangan gelagar LK4 menggunakan *crane*



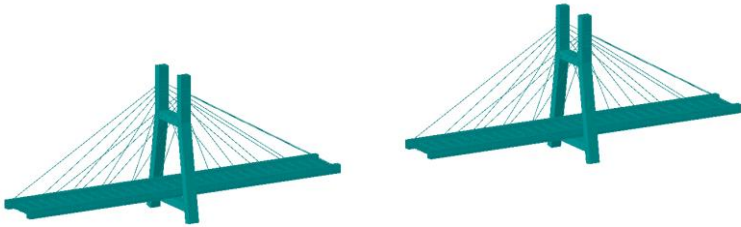
9. Pemasangan kabel S4 dan M4



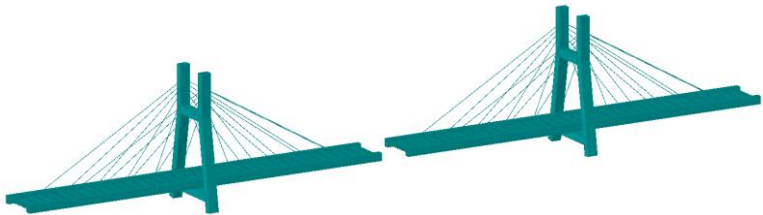
10. Pemasangan gelagar LK5 menggunakan *crane*



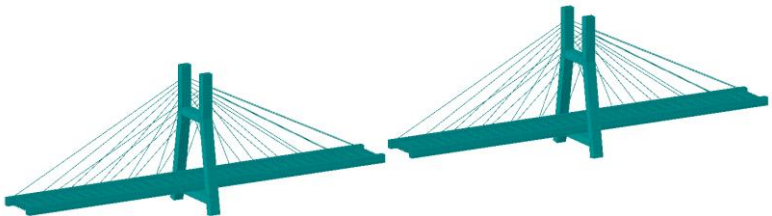
11. Pemasangan kabel S5 dan M5



12. Pemasangan gelagar LK6 menggunakan *crane*



13. Pemasangan kabel S6 dan M6



14. Pemasangan closure



4.9.5. Hasil Analisa Staging

Tabel 4.41 Hasil Analisa Staging Box Girder (dalam satuan kN)

	Beban	axial	sheary	shearz	torsion	momen y	momen z
CS0	Summation	18087.3	206.55	1819.85	1313.26	7216.87	839.5
CS1	Summation	13470.33	96.42	2816.08	1461.09	42027.44	413.11
CS2	Summation	11287.05	87.97	2374.41	447.75	39978.29	439.83
CS3	Summation	10555.66	87.06	2894.74	443.14	39449.53	435.3
CS4	Summation	10555.66	87.06	2894.74	443.14	39449.53	435.3
CS5	Summation	7629.9	33.49	2921.9	295.47	36067.29	170.72
CS6	Summation	5482.87	34.15	2475.62	294.09	43281.98	173.13
CS7	Summation	5221.34	33.8	2854.82	295.66	31430.49	171.33
CS8	Summation	3770.61	34.03	2660.24	293.08	48791.36	171.32
CS9	Summation	3145.19	34.19	2568.52	293.06	22558.46	171.92
CS10	Summation	2446.1	32.81	2967.57	285	49635.29	164.62
CS11	Summation	1278.14	34.44	1679.03	279.58	10706.06	172.02
CS12	Summation	1180.44	27.95	2898.85	249.83	32631.32	171.05
CS13	Summation	1.42	31.03	1410.55	227.58	10707.05	174.82
CS14	Summation	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.42 Hasil Analisa Staging Pylon (dalam satuan kN)

	Beban	axial	sheary	shearz	torsion	momen y	momen z
CS0	Summation	57766.9	3773.17	1691.74	3026.96	23145.43	14509.19
CS1	Summation	45844.41	1204.93	433.58	2912.44	19544.38	6394.84
CS2	Summation	43653.98	1683.69	1013.01	5660.88	47964.33	7940.38
CS3	Summation	42857.15	1092.94	209.08	986.04	8224.16	5764.83
CS4	Summation	39867.48	1682.98	111.18	8.81	215.56	7765.3
CS5	Summation	39548.3	993.12	109.9	8.43	208.18	5632.39
CS6	Summation	36628.05	1510.46	109.89	8.43	208.18	7114.23
CS7	Summation	36389.02	1038.4	37.51	4.09	76.63	5740.19
CS8	Summation	33412.16	1302.39	37.51	4.09	76.63	6360.68
CS9	Summation	33332.91	1418.27	34.89	2.79	52.33	6695.44
CS10	Summation	30222.63	889.82	34.89	2.79	52.33	5813.99
CS11	Summation	30427.32	2581.07	0	0	0	9960.94
CS12	Summation	27138.46	991.96	0	0	0	5912.74
CS13	Summation	27736.14	4853	0	0	0	16482.65
CS14	Summation	24441.11	2893.97	0	0	0	10676.5

Tabel 4.43 Hasil Analisa Staging Upper Cross Beam (dalam satuan kN)

	Beban	axial	sheary	shearz	torsion	momen y	momen z
CS0	Summation	7574.83	99.07	2120.9	1542.1	6217.42	1665.51
CS1	Summation	6240.19	8.6	2123.72	138.71	5602.83	118.62
CS2	Summation	5746.19	0	2120.84	0	5815.35	103.61
CS3	Summation	5789.94	0	2120.84	0	5579.79	53.57
CS4	Summation	5123.95	0	2120.84	0	5891.4	13.97
CS5	Summation	5255.81	0	2120.84	0	5632.38	13.36
CS6	Summation	4632.59	0	2120.84	0	5897.54	13.36
CS7	Summation	4705.9	0	2120.84	0	5740.19	6.49
CS8	Summation	4153.57	0	2120.84	0	5891.04	6.49
CS9	Summation	4112.91	0	2120.84	0	5932.44	4.43
CS10	Summation	3727.61	0	2120.84	0	5813.99	4.43
CS11	Summation	3357.84	0	2120.84	0	6390.88	0
CS12	Summation	3195.95	0	2120.84	0	5912.74	0
CS13	Summation	2373.16	0	2120.84	0	7227.34	0
CS14	Summation	2296.22	0	2120.84	0	6632.47	0

Tabel 4.44 Hasil Analisa Staging Lower Cross Beam (dalam satuan kN)

	Beban	axial	sheary	shearz	torsion	momen y	momen z
CS0	Summation	5193.58	897.15	2121.11	376.32	4405.27	3968.34
CS1	Summation	2206.65	479.84	2122.33	836.37	4014.9	1819.41
CS2	Summation	2899.76	821.74	2120.84	1812.03	3180.66	3368.41
CS3	Summation	2003.28	148.78	2120.84	312.9	4133.32	608.74
CS4	Summation	2891.23	3.12	2120.84	0.96	3067.73	12.34
CS5	Summation	1946.4	2.98	2120.84	0.91	4121.23	11.8
CS6	Summation	2675.06	2.98	2120.84	0.91	3199.98	11.8
CS7	Summation	2097.73	1.45	2120.84	0.44	3896.58	5.73
CS8	Summation	2415.96	1.45	2120.84	0.44	3460.94	5.73
CS9	Summation	2557.35	0.99	2120.84	0.3	3279.35	3.91
CS10	Summation	1909.06	0.99	2120.84	0.3	4079.8	3.91
CS11	Summation	3976.41	0	2120.84	0	3481.48	0
CS12	Summation	2041.47	0	2120.84	0	3891.83	0
CS13	Summation	6763.18	0	2663.5	0	10215.9	0
CS14	Summation	4469.02	0	2120.84	0	4946.53	0

Tabel 4.45 Hasil Analisa Staging Stroot (dalam satuan kN)

	Beban	axial	sheary	shearz	torsion	momen y	momen z
CS0	Summation	7814.31	505.86	994.15	337.35	3350.65	2519.19
CS1	Summation	7425.28	246.68	621.1	488.16	1515.59	852.01
CS2	Summation	4864.84	140.01	677.84	1220.78	1846.14	1613.56
CS3	Summation	3721.92	140.01	585.64	1220.78	1366.43	1613.56
CS4	Summation	3963.12	25.99	658.43	209.47	1791.33	281.3
CS5	Summation	3575.5	0.78	563.83	0.13	1292.77	3.59
CS6	Summation	3573.92	0.75	621.18	0.12	1634.69	3.59
CS7	Summation	3186.3	0.75	563.16	0.12	1329.48	1.81
CS8	Summation	3131.07	0.36	579.78	0.06	1455.71	1.74
CS9	Summation	3306.06	0.36	593.31	0.06	1528.64	1.19
CS10	Summation	2935.21	129.73	513.96	488.16	1146.61	852.01
CS11	Summation	4981.76	0.25	718.48	0.04	2230.75	0.6
CS12	Summation	4594.14	0	510.85	0	1169.25	0
CS13	Summation	8371.72	0	978.49	0	3646.37	0
CS14	Summation	7984.1	0	728.59	0	2359.11	0

Dari tabel-tabel diatas dapat diketahui bahwa keseluruhan gaya yang terjadi saat staging tidak lebih besar dari gaya-gaya yang terjadi saat beban layan maupun beban ultimate, dapat disimpulkan bahwa penampang sudah mampu untuk mengatasi gaya-gaya yang terjadi.

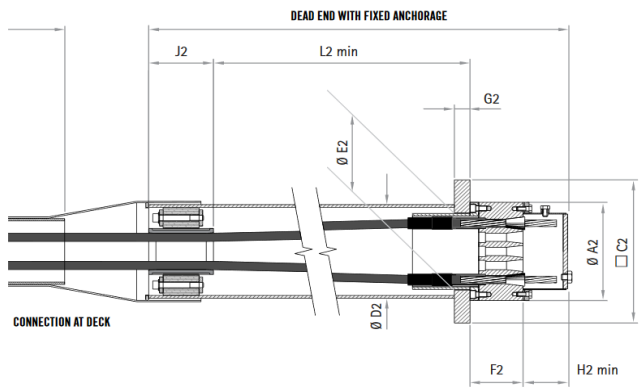
4.10. Perhitungan Anker

4.10.1. Perhitungan Anker pada Box

Anker kabel pada gelagar dipasang sesuai dengan jumlah *strand* kabel yang telah dihitung. Selanjutnya akan dilakukan kontrol tegangan pelat baja pada saat *stressing* (pemberian gaya tarik).



Gambar 4.114 Gambar Anker Pada Deck



Gambar 4.115 Detail anker VSL SSI 2000 untuk deck

Tabel 4. 46 Spesifikasi Teknis Anker VSL SSI 2000 untuk deck

CABLE UNIT	NUMBER OF STRANDS	STAY			STAY PIPE		
		BREAKING LOAD AT 100% GUTS	ADMISSIBLE LOAD AT 50% GUTS	ADMISSIBLE LOAD AT 100% GUTS	SSI 2000	SSI 2000-C	SSI 2000-D
		KN	KN	KN	MM	MM	MM
6-12	12	3,348	1,674	2,009	125/4.9	95/5.0	80/5.0
6-19	19	5,301	2,651	3,181	140/5.4	110/5.0	95/5.0
6-22	22	6,138	3,069	3,683	160/5.0	120/5.0	105/5.0
6-31	31	8,649	4,325	5,189	160/5.0	140/6.0	120/6.0
6-37	37	10,323	5,162	6,194	180/5.6	150/6.0	130/6.0
6-43	43	11,997	5,999	7,198	200/6.2	165/6.0	145/6.0
6-55	55	15,345	7,673	9,207	200/6.2	180/6.0	155/6.0
6-61	61	17,019	8,510	10,211	225/7.0	190/6.0	165/6.0
6-73	73	20,367	10,184	12,220	250/7.8	210/6.6	175/6.0
6-85	85	23,715	11,858	14,229	250/7.8	225/6.9	190/6.0
6-91	91	25,389	12,695	15,233	280/8.7	230/7.2	200/6.2
6-109	109	30,411	15,206	18,247	315/9.8	250/7.7	215/6.7
6-127	127	35,433	17,717	21,260	315/9.8	270/8.4	235/7.3
6-139	139	38,781	19,391	23,269	315/9.8	-	-
6-151	151	42,129	21,065	25,277	355/11.1	-	-
6-169	169	47,151	23,576	28,291	355/11.1	-	-
6-187	187	52,173	26,087	31,304	400/12.3	-	-

FIXED ANCHORAGE						
ØA1	C1	ØD1/ØH	ØJ1	ØF1	C1	H1 (mm)
mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm	mm
185	260	177/84.5	150	190	35	205
230	335	219/116.3	190	233	50	220
250	355	219/116.3	205	233	50	220
280	415	244/56.3	230	260	60	245
300	455	273/6.3	255	296	70	270
340	505	323/97.1	285	337	75	275
380	550	323/97.1	310	337	75	295
380	585	355/68	330	370	85	310
430	650	406/88.8	370	420	95	330
430	685	406/88.8	370	420	110	360
480	730	457/10	420	470	110	370
495	775	457/10	420	470	120	380
550	845	508/11	475	525	130	430
570	900	520/12	490	540	135	440
590	920	559/12.5	490	550	140	460
630	970	585/14	510	580	150	480
660	1,000	600/15	550	620	160	490

Data yang dipakai

Angker	Strand			
	R1	R2	R3	R4
	60	75	100	105
ØA2	380	430	495	495
C2	585	685	775	775

Pelat BJ55

$$f_y = 500 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 250 \text{ Mpa}$$

$$t_f = 70 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan anker digunakan kabel S6 karena mempunyai gaya paling besar.

Data perencanaan :

$$P = 9661.336 \text{ kN}$$

$$\text{ØA2} = 495 \text{ mm}$$

$$C2 = 775 \text{ mm}$$

$$A_p' = C2 \times C2$$

$$= 600625 \text{ mm}^2$$

$$A_p = A_p' - (0,25 \cdot \pi \cdot \text{ØA2})$$

$$= 600625 - (0,25 \cdot \pi \cdot 495)$$

$$= 4008280 \text{ mm}^2$$

Tegangan ijin pelat baja pada saat pemberian gaya tarik :

Pelat baja BJ55

$$f_y = 500 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 250 \text{ Mpa}$$

$$f_{yp} = 0,8f_y \sqrt{\frac{A_p'}{A_p} - 0,2}$$

$$= 0,8 \times 500 \times \sqrt{\frac{600625}{4008280} - 0,2}$$

$$= 450.973 \text{ Mpa}$$

$$f_{yt} = P / A_p$$

$$= 9661.336 / 4008280$$

$$= 23.664$$

Kontrol :

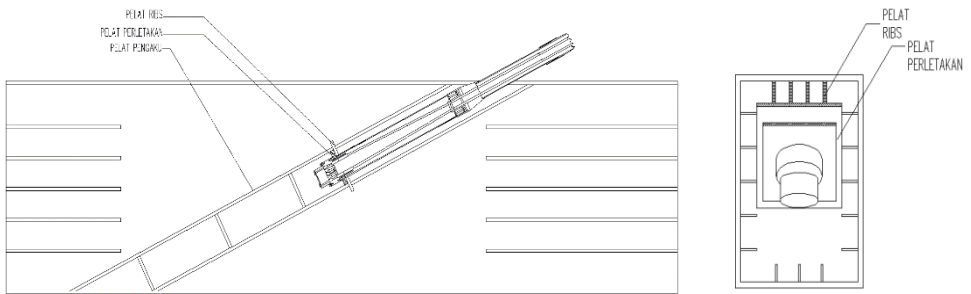
$$f_{yp} = 450.93 \text{ Mpa} > f_{yt} = 23.663 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Untuk perhitungan kontrol tegangan anker lain akan disajikan dalam bentuk tabel, dapat dilihat pada **Tabel 4.35**

Tabel 4.47 Perhitungan Angker Keseluruhan

Kabel	Anker (kabel)	ΦA2 (mm)	C2 (mm)	P (kN)	Ap' (mm ²)	Ap (mm ²)	Teg. Ijin pelat saat stressing (Mpa)		
							fyp	fyt	Ket
S6	105	495	775	9661.336409	600625	408280.4	450.9739081	23.663	ok
S5	100	495	775	7836.83834	600625	408280.4	450.9739081	19.195	ok
S4	100	495	775	7679.40472	600625	408280.4	450.9739081	18.809	ok
S3	75	430	685	5306.87754	469225	324078.5	446.8332149	16.375	ok
S2	75	430	685	4463.361512	469225	324078.5	446.8332149	13.772	ok
S1	60	380	585	1949.645882	342225	228871	455.2405308	8.519	ok
M1	60	380	585	2605.123184	342225	228871	455.2405308	11.382	ok
M2	75	430	685	6036.159642	469225	324078.5	446.8332149	18.626	ok
M3	75	430	685	6796.542241	469225	324078.5	446.8332149	20.972	ok
M4	100	495	775	8872.081199	600625	408280.4	450.9739081	21.730	ok
M5	100	495	775	7513.985181	600625	408280.4	450.9739081	18.404	ok
M6	105	495	775	6699.011693	600625	408280.4	450.9739081	16.408	ok

Kontrol kemampuan anker dalam menerima gaya tarik (*stressing*) berikut ilustrasi plat anker pada seluruh titik pengangkeran dapat dilihat pada Gambar 4.116 Pelat Anker Tendon



Gambar 4.116 Pelat Anker Tendon

Kontrol penampang pelat pada anker, digunakan kabel S6 karena mempunyai gaya terbesar

1. Kuat lentur pelat sayap
 SNI03-1729-2002, ps. 8.10.2

$$\phi R_b = \phi \cdot 6,25 \cdot t_f^2 \cdot f_y$$

$$= 10672813 \text{ N}$$

$$= 10672,813 \text{ kN}$$

2. Kuat leleh pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.3

$$\phi R_b = \phi \cdot (5k + N) \cdot t_w \cdot f_y$$

dimana :

k = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan

N = dimensi arah longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k.

$$\begin{aligned}\phi R_b &= 0,85 \cdot (5 \cdot 70 + 775) \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm} \cdot 410 \text{ N/mm}^2 \\ &= 31365000 \text{ N} \\ &= 31365 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. Kuat tekuk dukung pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.4 (8.10-4.c)

$$\begin{aligned}\phi R_b &= 0,39 \cdot t_w^2 \cdot \left[1 + \left\{ 4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}} \\ &= 15502646,2 \text{ N} \\ &= 15502,6462 \text{ kN}\end{aligned}$$

4. Kuat tekuk lentur pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.6

$$\begin{aligned}\phi R_b &= \frac{12,08 t_w^3}{h} \sqrt{E \cdot f_y} \\ &= 13601747,32 \text{ N} \\ &= 13601,747 \text{ kN}\end{aligned}$$

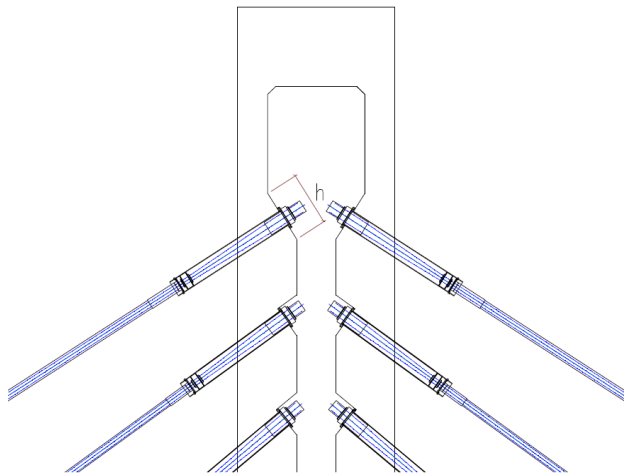
Dari semua perhitungan diatas dipakai nilai ϕR_b yang terkecil sebesar 10720,127 kN

Kontrol :

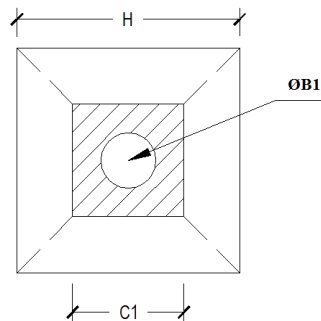
$$\phi R_b = 10720,127 \text{ kN} > P = 9661,3 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.10.2. Perhitungan Anker pada Pylon

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah *strand* dan gaya *stressing* nya yang telah dihitung. Pada daerah pengangkuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar lokasi pengangkuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan *stressing*.



Gambar 4.117 Darah Angker Pada Pylon

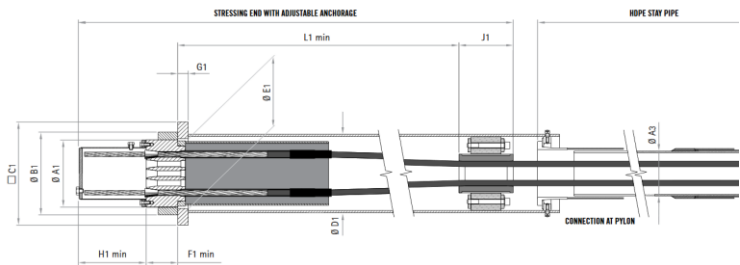


Gambar 4.118 Dimensi Angkur

Berikut adalah nilai gaya tarik dan detail serta spesifikasi angkur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.48, Tabel 4.49 dan Gambar 4.119.

Tabel 4.48 Hasil Analisa Gaya Tarik Dari Aaktual

Kabel	A pakai		Load
S6	9661.336409	kN	KUATI I (D)
S5	7836.83834	kN	KUATI I (D)
S4	7679.40472	kN	KUATI I (D)
S3	5306.87754	kN	KUATI I (D)
S2	4463.361512	kN	KUATI I (E)
S1	1949.645882	kN	KUATI I (C)
M1	2605.123184	kN	KUATI I (B)
M2	6036.159642	kN	KUATI I (D)
M3	6796.542241	kN	KUATI I (D)
M4	8872.081199	kN	KUATI I (D)
M5	7513.985181	kN	KUATI I (D)
M6	6699.011693	kN	KUATI I (D)



Gambar 4.119 Detail angker VSL SSI 2000

Tabel 4.49 Spesifikasi angker VSL SSI 2000

ADJUSTABLE ANCHORAGE						
BA2	B2	C2	ØB2/hk	E2	G2	B2 mini
mm	mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm
190	230	290	219.1/6.3	196	30	320
235	285	355	267/6.3	241	35	345
255	310	385	298.5/7.1	261	40	355
285	350	440	323.9/7.1	291	45	405
310	380	485	355.6/8	316	50	435
350	425	540	406.4/8.8	356	55	450
385	470	585	419/10	391	60	490
385	470	600	419/10	391	65	525
440	530	680	508/11	446	75	525
440	540	710	508/11	446	80	585
490	590	760	559/12.5	496	80	580
505	610	795	559/12.5	511	90	615
560	670	865	610/12.5	566	95	665
580	700	910	630/15	590	100	685
590	720	940	640/15	600	100	695
630	760	1,000	685/15	640	110	730
660	800	1,050	720/15	670	120	770

4.10.2.1. Kontrol Tegangan Beton saat *Stressing*

Perhitungan anker kabel dicontohkan dengan kabel 01

$$T = 9661,33 \text{ kN}$$

$$C_1 = 795 \text{ mm}$$

$$h = 895 \text{ mm}$$

$$f_c = 50 \text{ Mpa}$$

$$A_2 = h \cdot x \cdot h$$

$$= 801025 \text{ mm}^2$$

$$\text{ØB1} = 610 \text{ mm}$$

$$A_1 = (C_1 \times C_1) - \text{ØB1}$$

$$= 631415 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan 85% f_c'

$$\begin{aligned} f_{ci} &= 85\% \times 50 \text{ Mpa} \\ &= 42,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cp} &= 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} - 0,2 \\ &= 0,8 \cdot 42,5 \cdot \sqrt{\frac{801025}{631415}} - 0,2 \\ &= 35,147 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa}$$

Kontrol :

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa} > f_{cp} = 35,147 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Tegangan di bawah plat angker

$$\begin{aligned} f_t &= T / A_1 \\ &= 9661336,409 / 631415 \\ &= 15,301 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$f_t = 15,301 \text{ Mpa} < f_{cp} = 35,147 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada Tabel 4.50.

Tabel 4.50 Kontrol tegangan beton saat stressing pada kabel di pylon

Kabel	1,25 f_{ci} (Mpa)	f_{cp} (Mpa)	f_t (Mpa)	Kontrol
S6	56.445	37.3389523	15.30	OK
S5	56.445	37.3389523	12.41	OK
S4	56.445	37.3389523	12.16	OK
S3	56.445	42.5984516	10.54	OK
S2	56.445	42.5984516	8.86	OK
S1	56.445	51.4445646	5.42	OK
M1	56.445	51.4445646	7.25	OK
M2	56.445	42.5984516	11.99	OK
M3	56.445	42.5984516	13.50	OK
M4	56.445	37.3389523	14.05	OK
M5	56.445	37.3389523	11.90	OK
M6	56.445	37.3389523	10.61	OK

4.10.2.2. Perhitungan Tulangan Pada Daerah Pengakeran

1. Akibat pancaran (*bursting*)

$$T_{\text{pencar}} = 0,25T \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.3})$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{a}{h}\right)$$

$$= 0,25 \cdot 9661,33 \cdot \left(1 - \frac{795}{895}\right)$$

$$= 269,869 \text{ kN}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h-2e)$$

$$= 0,5 \cdot (895 - 0)$$

$$= 447,5 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang penutup D22 dengan $A_s = 379,94 \text{ mm}^2$

$$A_{s\text{perlu}} = T_{\text{pencar}} / f_y$$

$$= 269869,73 / 400$$

$$= 674,67 \text{ mm}^2$$

$$n = A_{s\text{perlu}} / A_{s\text{pakai}}$$

$$= 674,674 / 379,94$$

$$= 1,775$$

$$= 2 \text{ sengkang dekat ujung angkur}$$

Spasi antar sengkang

$$s = d_{\text{pencar}} / n$$

$$= 447,5 / 2$$

$$= 223,75 \text{ mm}$$

$$= 200 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang 2D22-200

2. Akibat pengelupasan (*spalling*)

Untuk mencegah pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2% T

$$2\%T = 2\% \cdot 9661,33 \text{ kN}$$

$$= 193,226 \text{ kN}$$

$$A_{s\text{perlu}} = 2\%T / f_y$$

$$= 193226,73 / 400$$

$$= 483,066 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan U D19 dengan $A_s = 283,385 \text{ mm}^2$

$$n = A_{s\text{perlu}} / A_{s\text{pakai}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 483,066 / 283,066 \\
 &= 1,7 \\
 &= 2 \text{ buah tulangan U}
 \end{aligned}$$

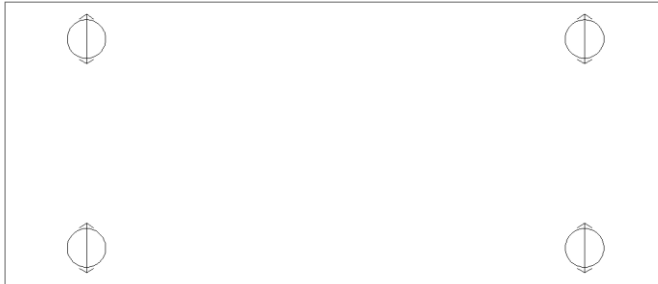
Untuk kebutuhan Tulangan pada daerah kabel yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.51

Tabel 4.51 Kebutuhan Tulangan Daerah Pengankuran

Kabel	Anker	(C1) (mm)	P (kN)	Bursting			Spalling		
				T pincar	Asperlu	n	Tspalling	Asperlu	n
S6	105	795	9661.336	269869.732	674.674	2	193226.73	483.07	2
S5	100	795	7836.838	218906.099	547.265	2	156736.77	391.84	2
S4	100	795	7679.405	214508.512	536.271	2	153588.09	383.97	2
S3	75	710	5306.878	163792.517	409.481	2	106137.55	265.34	1
S2	75	710	4463.362	137758.071	344.395	1	89267.23	223.17	1
S1	60	600	1949.646	69630.210	174.076	1	38992.92	97.48	1
M1	60	600	2605.123	93040.114	415.822	2	52102.46	130.26	1
M2	75	710	6036.160	186301.224	832.631	3	120723.19	301.81	2
M3	75	710	6796.542	209769.822	937.519	3	135930.84	339.83	2
M4	100	795	8872.081	247823.497	1107.591	3	177441.62	443.60	2
M5	100	795	7513.985	209887.854	938.046	3	150279.70	375.70	2
M6	105	795	6699.012	187123.232	836.305	3	133980.23	334.95	2

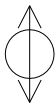
4.11. Desain Perletakan

Dengan adanya perletakan akan maka gaya dalam yang terjadi pada struktur atas akan disalurkan ke struktur bawah dan perletakan sendiri sebagai penompang jembatan. Berikut ini adalah *layout* dari penempatan perletakan yang digunakan.



Gambar 4.120 Layout Penempatan Perletakan

Dimana :



= pot bearing unidirectional

4.11.1. Desain Pot Bearing

Pot bearing unidirectional merupakan jenis perletakan dimana hanya memungkinkan satu gerakan arah lateral. Berikut ini adalah model penggunaan *unidirectional pot bearing* tipe PU H2 dapat dilihat pada **Gambar 4.100**



Gambar 4.121 Unidirectional Pot Bearing

Maka hasil reaksi yang terjadi pada perletakkan *pot bearing*, maka akan direncanakan menggunakan *unidirectional pot bearing* dengan tipe. Gaya dalam yang dapat diterima oleh pot bearing sebagai berikut :

- $V = 1421,74 \text{ kN}$
- $H = 3165,75 \text{ kN}$

Bearings according to AASHTO

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PU 140/100/H2 AA	1395	300	1000	200	500	81
PU 280/200/H2 AA	2790	600	2000	400	1000	194
PU 420/300/H2 AA	4185	900	3000	600	1500	286
PU 560/400/H2 AA	5580	1200	4000	800	2000	400
PU 700/500/H2 AA	6975	1500	5000	1000	2500	541
PU 840/600/H2 AA	8370	1800	6000	1200	3000	644
PU 1000/700/H2 AA	9765	2100	7000	1400	3500	858
PU 1100/800/H2 AA	11160	2400	8000	1600	4000	962
PU 1250/900/H2 AA	12555	2700	9000	1800	4500	1051
PU 1400/1000/H2 AA	13950	3000	10000	2000	5000	1347
PU 1535/1100/H2 AA	15345	3300	11000	2200	5500	1458
PU 1700/1200/H2 AA	16740	3600	12000	2400	6000	1573
PU 1800/1300/H2 AA	18135	3900	13000	2600	6500	1766
PU 1950/1400/H2 AA	19530	4200	14000	2800	7000	2044
PU 2100/1500/H2 AA	20925	4500	15000	3000	7500	2283
PU 2200/1600/H2 AA	22320	4800	16000	3200	8000	2410
PU 2400/1700/H2 AA	23715	5100	17000	3400	8500	2511
PU 2500/1800/H2 AA	25110	5400	18000	3600	9000	2726
PU 2650/1900/H2 AA	26505	5700	19000	3800	9500	3571
PU 2800/2000/H2 AA	27900	6000	20000	4000	10000	3650
PU 3100/2200/H2 AA	30690	6600	22000	4400	11000	4182
PU 3350/2400/H2 AA	33480	7200	24000	4800	12000	5008
PU 3600/2600/H2 AA	36270	7800	26000	5200	13000	5356
PU 3900/2800/H2 AA	39060	8400	28000	5600	14000	6815
PU 4200/3000/H2 AA	41850	9000	30000	6000	15000	7803

*Tabel 4.52 Kapasitas unidirectional Pot Bearing Dengan Tipe
PU 1535/1100/H2 AA*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil dari seluruh analisa yang kemudian dikontrol dari desain jembatan *cable stayed* ini, disajikan pada bab kesimpulan dengan rincian sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan struktur sekunder *cable-stayed* didapatkan:
 - Tiang sandraan menggunakan beton bertulang dengan dimensi 0,2 m x 0,25 m x 1,5 m
 - Pipa sandaran berupa profil pipa baja dengan dimensi Ø60,5 mm.
 - Pelat lantai kendaraan menggunakan beton dengan ketebalan 0,2 m dan aspal 0,05 m.
 - Gelagar melintang dengan custom profil WF 1650.550.16.35
 - Gelagar memanjang dengan profil WF 600.300.14.23
 - Gelagar kantilever dengan profil WF 300.200.9.14
2. Permodelan dan analisa struktur menggunakan program MIDAS/CIVIL.
3. Gelagar utama berupa *rectangular twin box girder* dengan dimensi 3500.2500.70.70
4. Jembatan masih mampu menahan beban statik dan dinamis (gempa) saat jembatan diasumsikan satu kabel putus, dengan rasio kombinasi lentur dan aksial adalah $0,851 < 1,00$.
5. Kabel yang digunakan adalah *VSL 7-wire strand*, tipe ASTM A 416-05 Grade 270. Kabel masih bisa menahan perbesaran gaya yang terjadi akibat kondisi satu kabel putus.
6. Gelagar utama dan penampang kabel masih dapat menahan gaya-gaya yang terjadi saat terjadi kondisi satu kabel putus pada kabel S6 yang memiliki gaya yang paling besar
7. Struktur *pylon* dengan dimensi 4.5 m x 3.5 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan kolom *pylon* didapat:

Tabel 5.1 Tabel Rekapitulasi Penulangan Kolom Pylon

Tulangan Longitudinal	234D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	8D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	6D22-250
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	8D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	6D22-250
Tulangan Torsi Longitudinal	40D36
Tulangan Torsi Transversal	3D22-300

8. Balok pengaku (*upper cross beam*) dengan dimensi 3.5 m x 4.5 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan *pylon* didapat:

Tabel 5.2 Tabel Rekapitulasi Penulangan Upper Cross Beam

Tulangan Longitudinal	126D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Torsi Longitudinal	26D36
Tulangan Torsi Transversal	2D22-300

9. Balok pengaku (*lower cross beam*) dengan dimensi 3.5 m x 4.5 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan *pylon* didapat:

Tabel 5.3 Tabel Rekapitulasi Penulangan Lower Cross Beam

Tulangan Longitudinal	126D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	4D22-250
Tulangan Torsi Longitudinal	13D36
Tulangan Torsi Transversal	D22-300

10. Balok pengaku *lower cross beam* (*Stroot*) dengan dimensi 2 m x 3 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan *pylon*

Tabel 5.4 Tabel Rekapitulasi Penulangan Stroot

Tulangan Longitudinal	70D36
Tulangan Transversal Y Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Y Luar Sendi Plastis	4D22-100
Tulangan Transversal Z Sendi Plastis	6D22-100
Tulangan Transversal Z Luar Sendi Plastis	4D22-150
Tulangan Torsi Longitudinal	15D36
Tulangan Torsi Transversal	D22-300

11. Stabilitas aerodinamis struktur jembatan setelah dihitung menggunakan rumus empiris untuk efek *vortex-shedding* pada cek psikologis masih dominan berada pada daerah *acceptable* dan *tolerance*. Sedangkan untuk efek ayunan (*flutter*) aman, kecepatan angin izin untuk terjadi efek ayun lebih besar dari kecepatan angin desain, yaitu sebesar 52,150 m/dt.

12. Metode pelaksanaan atau *staging analysis* menggunakan metode *backward solution*, sedangkan pelaksanaan konstruksinya menggunakan *form traveler*. Dari *staging analysis* dapat diketahui bahwa gaya-gaya dalam perencanaan penampang sudah dapat mengatasi gaya-gaya saat pelaksanaan.

5.2. Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, maka dari itu perlu adanya hal-hal yang harus diperhatikan agar perencanaan atau desain sejenis dapat lebih baik lagi, hal-hal tersebut antara lain :

1. Agar ketelitian dalam desain lebih baik dari desain ini kedepannya perlu untuk menambah macam konfigurasi pembebanan (berupa beban statik) untukantisipasi keadaan yang paling kritis, sehingga desain bisa lebih aman.
2. Dalam menentukan distribusi pembebanan pada saat *staging analysis* tepatnya pembebanan *form traveler* terhadap lantai kendaraan perlu di cek kembali supaya lebih proporsional (mendekati kondisi yang sebenarnya).
3. Untuk desain yang sebenarnya dalam analisa dinamis akibat beban angin selain dilakukan kontrol menggunakan rumus empiris perlu juga dimodelkan penuh menggunakan terowongan angina (*wind tunnel*). Hal ini dimaksudkan agar ketelitian dalam desain lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Supriyadi dan Agus Setyo Muntohar, 2007, *Jembatan*, CV .BET A OFFSET.
- Gerard Parke dan Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering*. USA, ASCE Press
- Gimsing, Neils J. , dan Christos T. Georgakis. 2012. *Cable Suported Bridge Concept and Design Third Edition*. Denmark, John Wiley and Sons Ltd.
- Grabow, Marko J. 2004. *Construction Stage Analysis of Cable-stayed Bridges*. Hamburg, Civil and Environmental Engineering Technische Universtät Hamburg-Harburg
- Handan China Railway Bridge Machinery Co. Ltd. *Travelling Formwork System (Form-Traveller)*. HCR Bridge Machinery (M) Sdn. Bhd.
- Juvani, Jani, dan Olli Lipponen. 2012. “*Cable Stayed Bridge*”. Alto University.
- Mustazir, Herry Vaza, dan Monang SR Pasaribu. 2002. *Kabel Sebagai Elemen Utama Jembatan: Konstruksi dan Perilaku*. Bandung, Institut Teknologi Nasional
- Niyitegeka, Simon. 2015. *Influence of Cable Layout on the Seismic Response of Cable-stayed Bridges*. India, Departement of Civil Engineering, Gujarat Technological University

- Parke, Gerard, dan Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering Second Edition*. London, Thomas Telford Ltd.
- Podolny, W, and Scalzi. 1986. *Construction and Design of Cable-stayed Bridge*. New York
- Parmar, Vijay. 2015. *Effect of Pylon Height on Cable Stayed*. International Journal of Science Technology & Engineering. India.
- Roy, Partha P. 2013. *Cable Stayed Bridge*. India, International Jurnal of Science and Advance Technology
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. RSNI T-12-2004. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. RSNI T-03-2005. Deartemen PU Dirjen Bina Marga
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. RSNI 2833-2016. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. SNI 1726-2015. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. SNI 1725-2016. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.

Standar Nasional Indonesia. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Beton*. SNI 2847-2013. Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. SNI 1726-2015. Departemen Pekerjaan Umum

Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel*. SK PU 23 April 2015. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Walter, R. , Houriet, Isler, Moia, Klein. 1999. *Cable Stayed Bridge Second Edition*. London, Thomas Telford Publising.

Widya, Angelina A. (2016, 21 Desember). *Kementrian PUPR Akan Bangun Jembatan Sungai Landak II*. <http://binamarga.pu.go.id/bm/index.php/produk/jaringan-jalan/jaringan-jalan-tahun-2009/439-kementerian-pupr-dan-pemkot-pontianak-akan-bangun-jembatan-sungai-landak-ii>

Xiang, Halfan. 1999. *Cable-stayed Bridges : Past, Present, and Future*. Malmö, Proceedings International Association or Bridge and Structural Engineering (IABSE)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

CARBON STEEL GRADE B PIPES - ASTM A53M, A106M, API 5L, Seamless

Maximum Allowable Operating Pressure (MPa)												
Nominal Size		Outside Diameter (mm)	Schedule		Wall Thickness (mm)	Temperature (°C)						
						-29 to +38	204	260	343	371	399	427
(DN)	(NPS)					Maximum Allowable Stress (MPa)						
						137.9	137.9	130.3	117.2	113.8	89.6	74.5
15	½	21.3	STD	40	2.77	34.5	34.5	32.6	29.3	28.5	22.4	18.6
20	¾	26.7	STD	40	2.87	28.1	28.1	26.5	23.8	23.1	18.2	15.1
			XS	80	3.91	39.4	39.4	37.2	33.5	32.5	25.6	21.3
25	1	33.4	STD	40	3.38	26.3	26.3	24.8	22.3	21.7	17.1	14.2
			XS	80	4.55	36.3	36.3	34.3	30.9	30.0	23.6	19.6
32	1¼	42.2	STD	40	3.56	21.6	21.6	20.4	18.4	17.8	14.1	11.7
			XS	80	4.85	30.2	30.2	28.5	25.6	24.9	19.6	16.3
				160	6.35	40.6	40.6	38.4	34.5	33.5	26.4	21.9
40	1½	48.3	STD	40	3.68	19.4	19.4	18.4	16.5	16.0	12.6	10.5
			XS	80	5.08	27.4	27.4	25.9	23.3	22.6	17.8	14.8
				160	7.14	39.8	39.8	37.6	33.8	32.8	25.9	21.5
50	2	60.3	STD	40	3.91	16.4	16.4	15.5	13.9	13.5	10.7	8.9
			XS	80	5.54	23.7	23.7	22.4	20.1	19.5	15.4	12.8
				160	8.74	38.9	38.9	36.8	33.1	32.1	25.3	21.0
65	2½	73.0	STD	40	5.16	17.9	17.9	17.0	15.3	14.8	11.7	9.7
			XS	80	7.01	24.8	24.8	23.5	21.1	20.5	16.1	13.4
				160	9.53	34.7	34.7	32.8	29.5	28.6	22.5	18.7
80	3	88.9	STD	40	5.49	15.6	15.6	14.7	13.2	12.8	10.1	8.4
			XS	80	7.62	22.0	22.0	20.8	18.7	18.2	14.3	11.9
				160	11.13	33.1	33.1	31.3	28.1	27.3	21.5	17.9
100	4	114.3	STD	40	6.02	13.2	13.2	12.5	11.2	10.9	8.6	7.1
			XS	80	8.56	19.1	19.1	18.0	16.2	15.7	12.4	10.3
				120	11.13	25.2	25.2	23.8	21.4	20.8	16.4	13.6
				160	13.49	31.0	31.0	29.3	26.4	25.6	20.2	16.8
			XXS		17.12	40.4	40.4	38.2	34.3	33.3	26.2	21.8
125	5	141.3	STD	40	6.55	11.6	11.6	10.9	9.8	9.5	7.5	6.2
			XS	80	9.53	17.1	17.1	16.1	14.5	14.1	11.1	9.2
				120	12.7	23.1	23.1	21.9	19.7	19.1	15.0	12.5
				160	15.88	29.4	29.4	27.8	25.0	24.3	19.1	15.9
			XXS		19.05	35.9	35.9	33.9	30.5	29.6	23.4	19.4
150	6	168.3	STD	40	7.11	10.5	10.5	9.9	8.9	8.7	6.8	5.7
			XS	80	10.97	16.5	16.5	15.6	14.0	13.6	10.7	8.9
				120	14.27	21.8	21.8	20.6	18.5	17.9	14.1	11.7
			XXS	160	18.26	28.3	28.3	26.8	24.1	23.4	18.4	15.3
200	8	219.1		20	6.35	7.1	7.1	6.7	6.1	5.9	4.6	3.9
				30	7.04	7.9	7.9	7.5	6.7	6.5	5.2	4.3
			STD	40	8.18	9.3	9.3	8.7	7.9	7.6	6.0	5.0
				60	10.31	11.7	11.7	11.1	10.0	9.7	7.6	6.3
			XS	80	12.7	14.6	14.6	13.8	12.4	12.0	9.5	7.9
				100	15.09	17.5	17.5	16.5	14.8	14.4	11.4	9.4
				120	18.26	21.4	21.4	20.2	18.2	17.6	13.9	11.5
				140	20.62	24.3	24.3	23.0	20.7	20.1	15.8	13.1
			XXS		22.23	26.4	26.4	24.9	22.4	21.7	17.1	14.2
	160	23.01	27.4	27.4	25.8	23.3	22.6	17.8	14.8			
Important - refer to the associated Notes on page 1.												

Important - refer to the associated Notes on page 1.

SSI 2000: VSL STAY CABLE TECHNOLOGY

Compact anchorage

Fully prefabricated including its corrosion protection in controlled factory conditions

Several complementary barriers

For complete water tightness of the anchorage

Anchorage protection cap with flexible gel filler

Strands encapsulated by a polymerised and bonded filler, achieving reliable corrosion protection while allowing access for inspection if necessary

High fatigue resistance

Demonstrated in fatigue tests in accordance with *fib* and PTI requirements under combined tensile and bending action

Replaceable strand system in a durable stay pipe

Sheathed, greased or waxed strands with optional galvanization, protected in an HDPE pipe with proven ageing performance. Each strand can be individually monitored, inspected and replaced

Individual encapsulation and deviation

Each strand is individually protected with a multi-layer barrier system inside a leak-tight anchorage assembly and is separately guided to filter bending stresses at the anchorage entrance

The SSI 2000 Stay cable system is based on VSL's proven strand technologies

The SSI 2000 wedge anchorages and its tensile members as well as its protective system meet the most stringent requirements for durability, tensile capacity and fatigue performance. Its strand-by-strand technology ensures maximum flexibility and full capability for replacement.

High fatigue performance

The anchorage assembly is designed to control the deviation of individual strands and to filter cable vibrations outside the wedge anchorage zone. Its outstanding fatigue performance has been demonstrated in fatigue tests as specified in the latest recommendations by PTI and *fib* with imposed angular deviation of the

anchorage from the cable axis. A tension ring or a guide deviator can be used to bundle the strands at the exit of the guide pipe.

Durability and multi-barrier protection

All SSI 2000 stay cables are engineered for a design life of 100 years in the most aggressive environments.

The unique feature of individual encapsulation of each strand within the anchorage assembly eliminates the risk of corrosion migration between strands.

The multi-barrier protection system is achieved in the free length by individually sheathed, greased or waxed strands with optional galvanization

within the protective outer stay pipe. The protection is maintained in the anchorage assembly by a flexible gel filler injection, which has passed the stringent leak-tightness tests specified by PTI and *fib*.

Cable installation with lightweight equipment and minimum impact on other erection activities

The compact nature of the anchorages and the strand-by-strand installation with lightweight equipment frees tower crane time and does not require any heavy deck equipment. Therefore, the stay installation does not impair the key activities in a typical deck and pylon construction cycle.

Free tension ring

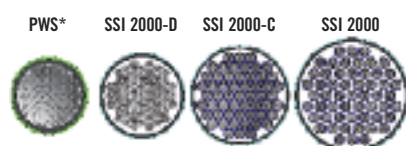
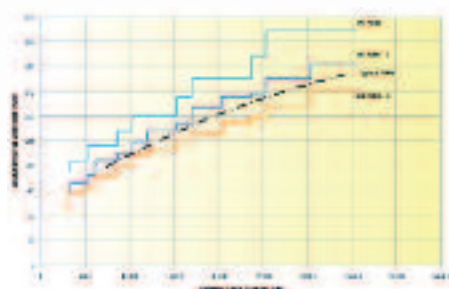
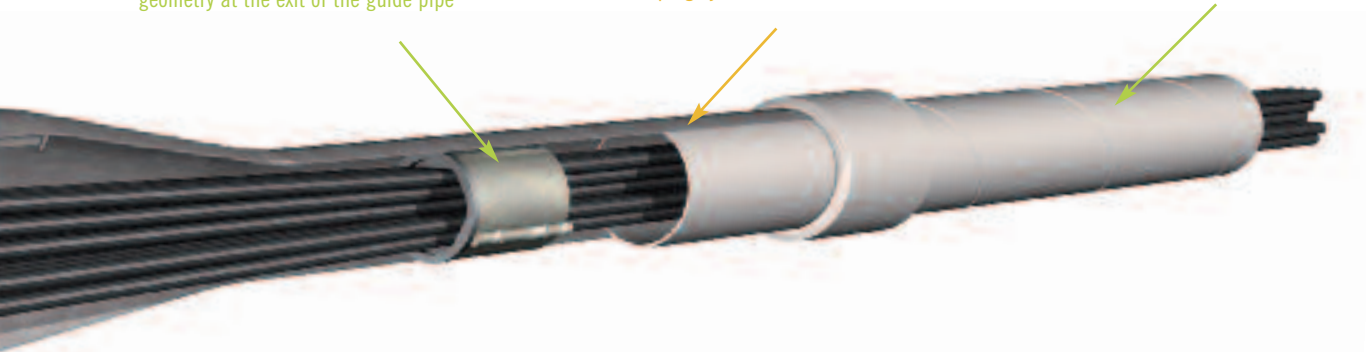
Located inside the stay pipe. Can be replaced by a guide deviator, depending on the geometry at the exit of the guide pipe

Anti-vandalism protection

Designed to protect the stay cable above deck level and to accommodate an optional damping system

Low drag coefficient and aeroelastic stability

External helical ribs tested in wind tunnel for efficient control of rain-wind induced vibrations. Two options for even lower wind drag – SSI 2000-C and SSI 2000-D with reduced stay pipe diameters



Comparison of equivalent drag diameter of different types of stays

Equivalent Drag Diameter = O.D. Stay Pipe x Drag Coefficient Cd
Cd = 0.6 for SSI 2000 has been determined in wind tunnel testing

Cd = 0.8 for PWS is based on typical project specification

* PWS = typical parallel wire system

Cable replacement strand by strand with minimum traffic disruption

Strands can be individually monitored, inspected and replaced: entire cables can be replaced strand by strand. The use of lightweight equipment minimises the impact on vehicular traffic and cable replacement can be achieved under single lane closures.

VSL Dampers

The stay cable can be designed with two types of dampers, the VSL Friction damper or the VSL VE damper, or provision can be made for later installation.

SSI Saddle with fully replaceable strands

For extradosed bridges and cable-stayed bridges with compact pylon arrangements, VSL offers a patented saddle solution compatible with the SSI 2000 system. The compact saddle design allows for strand-by-strand installation and replacement and achieves a safe and reliable anchorage for unbalanced cable loads. Extensive fatigue testing has been carried out in accordance with *fib* requirements to demonstrate that there is equivalent performance between saddle and standard anchorages.

Three systems are available to meet project-specific aerodynamic requirements.

The standard SSI 2000 system with an optimised stay pipe to control rain-wind induced vibration and minimise wind drag

The stay pipe is fitted with a continuous helical rib, effectively suppressing rain and wind induced vibrations and reducing the wind drag on the cable. Extensive wind tunnel testing at speeds of up to 70m/s has been carried out for validation.

SSI 2000-C: the VSL compact system for long cables

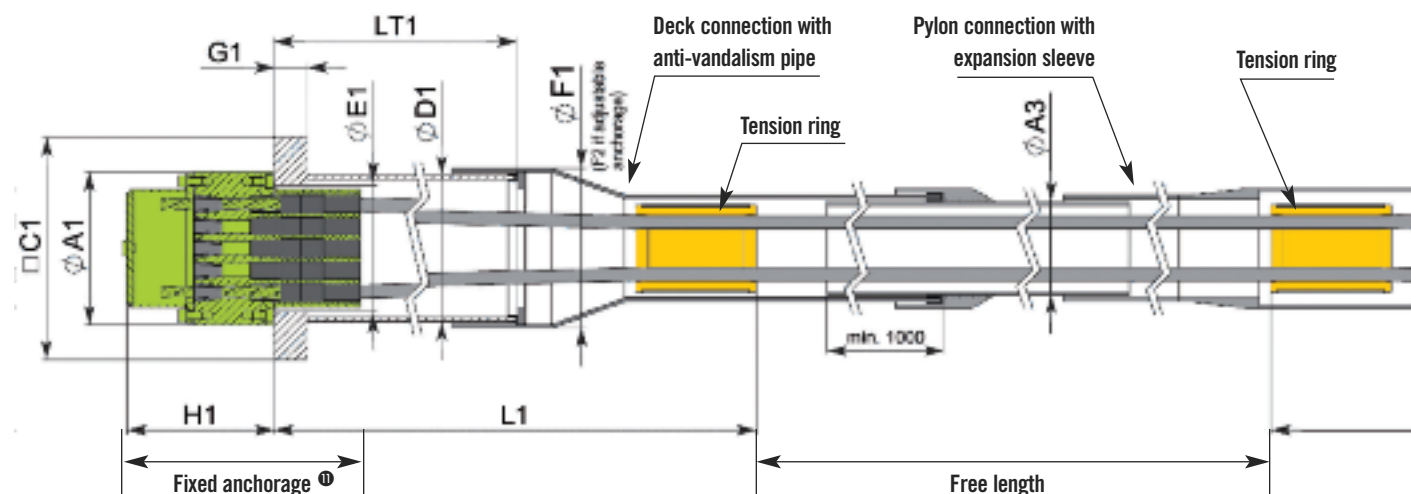
Reduced stay pipe diameters result in lower wind drag on the stay cable and hence in a reduction of wind loads on the structure. This can be an important parameter in the design of long-span bridges. The SSI 2000-C compact stay cable range offers significantly reduced stay pipe diameters for the same permissible cable load. While this is the system of choice for exceptionally long cables, special tools are required for its installation.

SSI 2000-D: the VSL dehumidified system for even lower wind drag

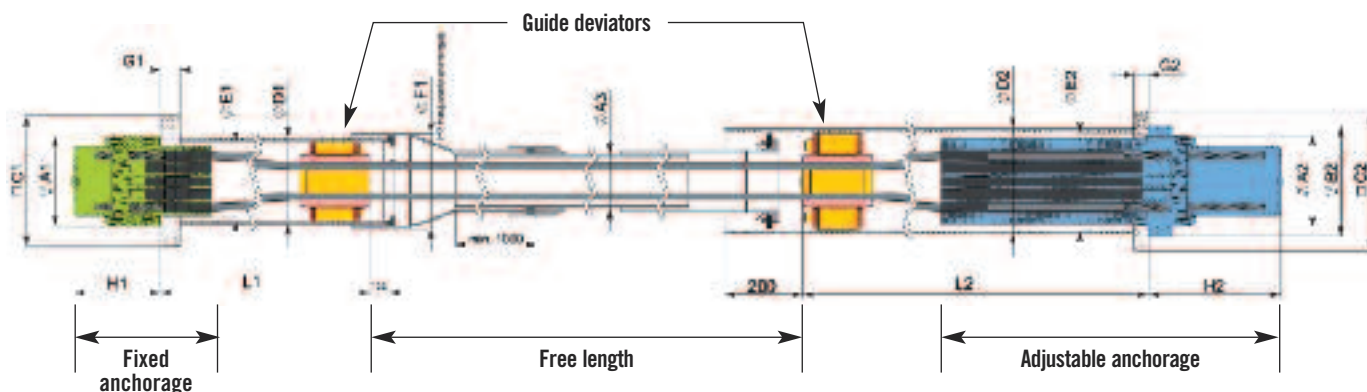
The system maintains all the proven features of the standard anchorage system, while reducing further the cross section of the ducted strand bundle by eliminating the sheathing of the strands and providing equivalent corrosion protection through permanent dehumidification of the cable. The result is the most compact parallel strand stay cable on the market – a system with fully replaceable individual strands and unrivalled low wind drag.

VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS

STANDARD ARRANGEMENT WITH TENSION RING



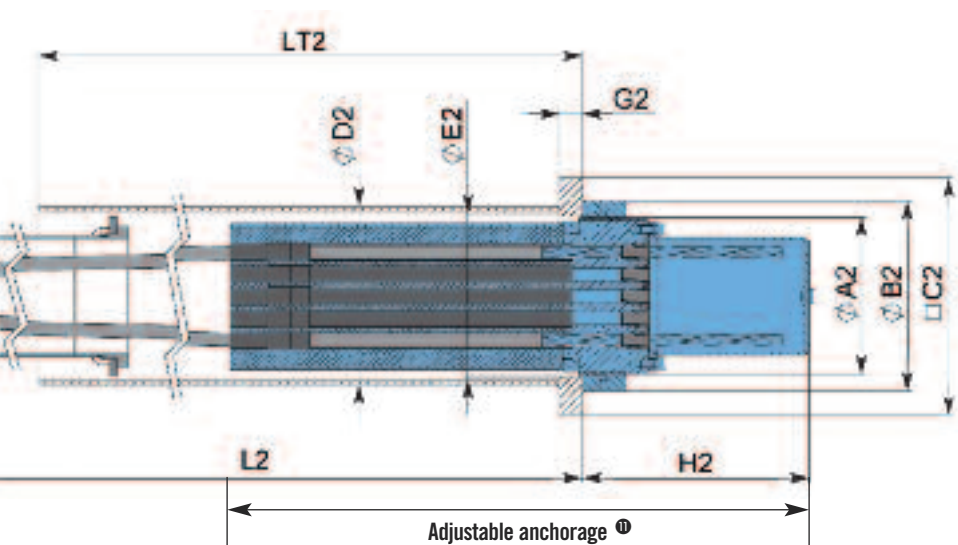
ALTERNATIVE ARRANGEMENT WITH GUIDE DEVIATOR



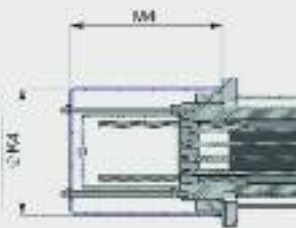
CABLE UNIT ③	NUMBER OF STRANDS	STAY			STAY PIPE		
		BREAKING LOAD AT 100% GUTS kN ①	ADMISSIBLE LOAD AT 50% GUTS kN ②	ADMISSIBLE LOAD AT 60% GUTS kN ③	SSI 2000 mm ④	SSI 2000-C ØA3/thk mm ④	SSI 2000-D mm ⑤
6-12	12	3,348	1,674	2,009	125/4.9	95/5.0	80/5.0
6-19	19	5,301	2,651	3,181	140/5.4	110/5.0	95/5.0
6-22	22	6,138	3,069	3,683	160/5.0	120/5.0	105/5.0
6-31	31	8,649	4,325	5,189	160/5.0	140/6.0	120/6.0
6-37	37	10,323	5,162	6,194	180/5.6	150/6.0	130/6.0
6-43	43	11,997	5,999	7,198	200/6.2	165/6.0	145/6.0
6-55	55	15,345	7,673	9,207	200/6.2	180/6.0	155/6.0
6-61	61	17,019	8,510	10,211	225/7.0	190/6.0	165/6.0
6-73	73	20,367	10,184	12,220	250/7.8	210/6.6	175/6.0
6-85	85	23,715	11,858	14,229	250/7.8	225/6.9	190/6.0
6-91	91	25,389	12,695	15,233	280/8.7	230/7.2	200/6.2
6-109	109	30,411	15,206	18,247	315/9.8	250/7.7	215/6.7
6-127	127	35,433	17,717	21,260	315/9.8	270/8.4	235/7.3
6-139	139	38,781	19,391	23,269	315/9.8	- ⑥	- ⑥
6-151	151	42,129	21,065	25,277	355/11.1	- ⑥	- ⑥
6-169	169	47,151	23,576	28,291	355/11.1	- ⑥	- ⑥
6-187 ⁸	187	52,173	26,087	31,304	400/12.3	- ⑥	- ⑥

FIXED ANCHORAGE						
ØA1	C1	ØD1/thk	ØE1	ØF1	G1	H1 mini
mm	mm ⑥	mm/mm	mm	mm	mm	mm
185	260	177.8/4.5	150	190	35	205
230	335	219.1/6.3	190	233	50	220
250	355	219.1/6.3	205	233	50	220
280	415	244.5/6.3	230	260	60	245
300	455	273/6.3	255	286	70	270
340	505	323.9/7.1	285	337	75	275
380	550	323.9/7.1	310	337	75	295
380	585	355.6/8	330	370	85	310
430	650	406.4/8.8	370	420	95	330
430	685	406.4/8.8	370	420	110	360
480	730	457/10	420	470	110	370
495	775	457/10	420	470	120	380
550	845	508/11	475	525	130	430
570	900	520/12	480	540	135	440
590	920	559/12.5	490	550	140	460
630	970	585/14	510	580	150	480
660	1,000	600/15	550	620	160	490

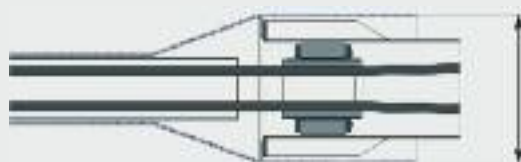
- ① Based on strand specification as per EN 10138 (150mm², 1860MPa); reduction required for ASTM A416 or BS 5896; GUTS = Guaranteed Ultimate Tensile Strength of strand
 ② Recommended max. service stress for stay cables as per fib bulletin No. 30 and CIP
 ③ Recommended max. service stress for extradosed cables as per CIP
 ④ Galvanized and sheathed strand with a minimum sheathing thickness of 1.5mm



OPTIONAL ITEMS



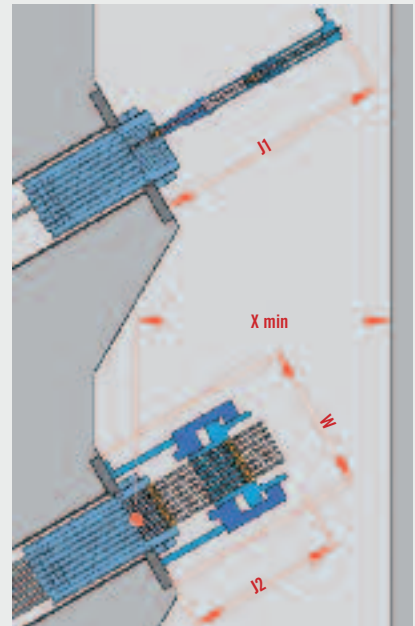
Optional anchorage cap
for adjustable anchorage in severe
environments class C5-M and -I as
per ISO 12944



Optional anti-vandalism pipe
for future provision of damper

Required clearances

In case of facing adjustable anchorages, it is
recommended to provide two times the minimum
clearance. *If reduced clearances are required,*
please contact VSL.



Required jack clearances

ANCHORAGE UNIT	W mm	J1 mm	J2 mm	Xmin mm
6-12 to 6-19	490	1,000	1,000	1,500
6-22 to 6-43	620	1,050	1,100	1,500
6-55 to 6-73	780	1,100	1,200	1,500
6-85 to 6-91	780	1,150	1,300	1,500
6-109 to 6-127	970	1,200	1,500	1,800
6-139 to 6-187	- ⑨	1,250	- ⑨	2,000

ADJUSTABLE ANCHORAGE						
ØA2	B2	C2	ØD2/hk	E2	G2	H2 mini
mm	mm	mm ⑥	mm/mm	mm	mm	mm
190	230	290	219.1/6.3	196	30	320
235	285	355	267/6.3	241	35	345
255	310	385	298.5/7.1	261	40	355
285	350	440	323.9/7.1	291	45	405
310	380	485	355.6/8	316	50	435
350	425	540	406.4/8.8	356	55	450
385	470	585	419/10	391	60	490
385	470	600	419/10	391	65	525
440	530	680	508/11	446	75	525
440	540	710	508/11	446	80	585
490	590	760	559/12.5	496	80	580
505	610	795	559/12.5	511	90	615
560	670	865	610/12.5	566	95	665
580	700	910	630/15	590	100	685
590	720	940	640/15	600	100	695
630	760	1,000	685/15	640	110	730
660	800	1,050	720/15	670	120	770

DEVIATED LENGTH	
L1	L2
mm	mm
1,100	1,500
1,370	1,770
1,550	1,950
1,740	2,140
1,920	2,320
2,170	2,570
2,290	2,690
2,490	2,900
2,710	3,120
2,830	3,240
3,080	3,490
3,230	3,640
3,630	4,030
3,680	4,090
3,770	4,170
4,180	4,580
4,190	4,590

STANDARD ARRANGEMENT			
LT1 DECK	LT1 PYLON	LT2 DECK	LT2 PYLON
mm ⑦	mm	mm ⑦	mm
500	500	1,000	1,000
500	500	1,000	1,000
500	500	1,000	1,000
500	900	1,000	1,200
500	900	1,000	1,200
500	900	1,000	1,200
500	1,100	1,000	1,400
500	1,100	1,000	1,400
500	1,100	1,000	1,400
500	1,300	1,000	1,600
500	1,300	1,000	1,600
500	1,300	1,000	1,600
500	2,000	1,000	2,000
500	2,000	1,000	2,000
500	2,000	1,000	2,000
500	2,200	1,000	2,500
500	2,200	1,000	2,500

ALTERNAT.
HORIZONTAL FORCE ON GUIDE DEVIATOR kN ⑩
50
80
92
130
155
180
230
255
306
356
381
456
531
582
632
707
783

OPTIONAL DETAILS		
ØF4	ØK4	M4 MINI
mm	mm	mm
430	240	380
450	300	400
470	320	410
505	360	460
545	390	490
585	440	510
610	490	550
630	490	580
650	550	580
680	560	640
700	610	640
730	630	670
740	690	700
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨
- ⑨	- ⑨	- ⑨

⑤ Galvanized strand in accordance with NF A 35-035

⑥ Square bearing plate based on concrete strength of 45MPa cube (36MPa cylinder); dimensions can be adjusted for other concrete strength or steel structures

⑦ Can be reduced if required; please contact VSL

⑧ Larger units available on request

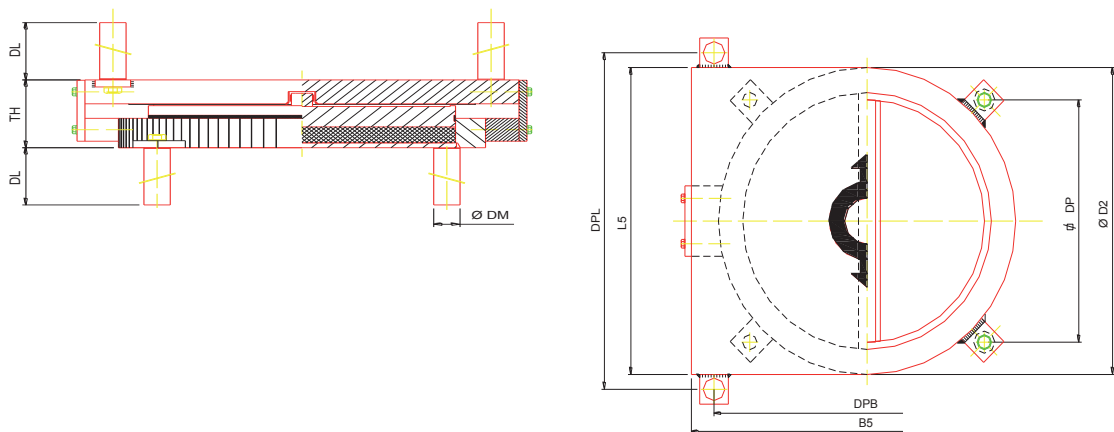
⑨ Dimensions available on request

⑩ SLS Level

⑪ Fixed or adjustable anchorages are interchangeable between pylon and deck, see dimensions L1 and L2

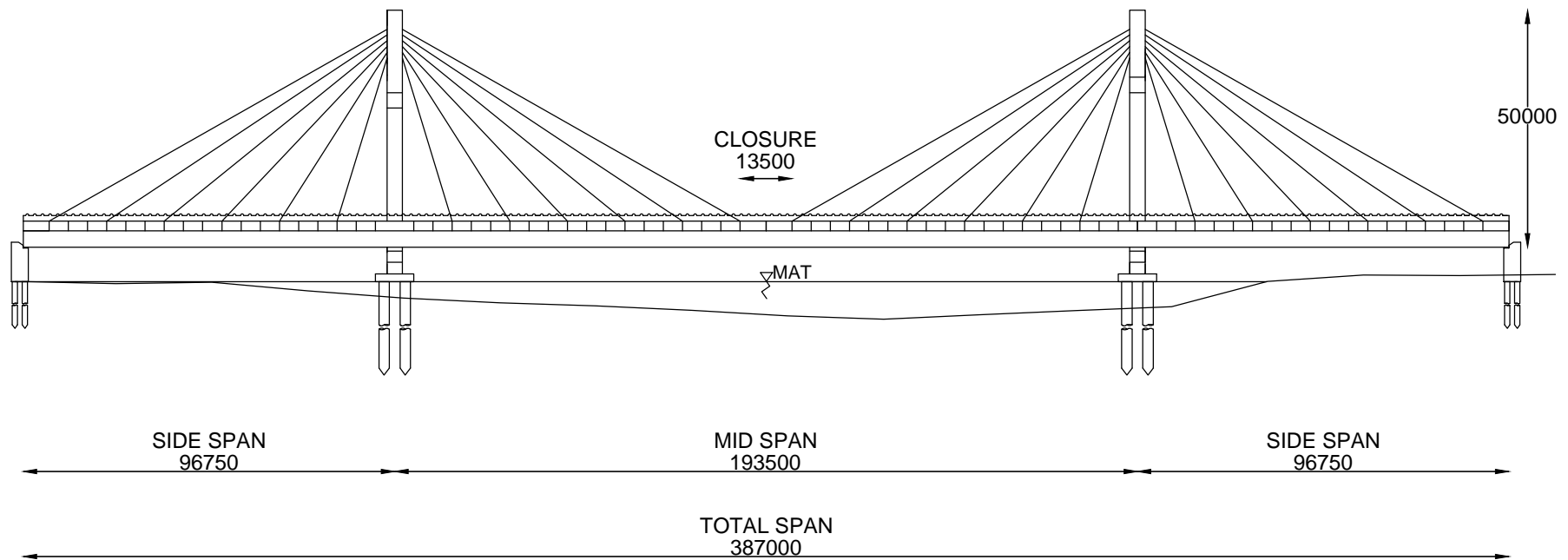
Main Dimensions

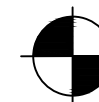
BEARING TYPE	Pot Ø D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier Ø (mm)	DM Ø (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PU 140/100/H1 AA	313	92	495 x 313	501	40	200	405	373	264
PU 280/200/H1 AA	400	103	582 x 400	640	40	200	492	460	325
PU 420/300/H1 AA	470	107	652 x 470	752	40	200	562	530	375
PU 560/400/H1 AA	525	130	707 x 525	840	40	200	617	585	414
PU 700/500/H1 AA	580	137	760 x 580	928	40	200	670	640	453
PU 840/600/H1 AA	652	141	825 x 652	1043	40	200	735	712	503
PU 1000/700/H1 AA	686	157	854 x 686	1098	40	200	764	746	528
PU 1100/800/H1 AA	752	165	916 x 752	1203	40	200	826	812	574
PU 1250/900/H1 AA	782	166	940 x 782	1251	40	200	850	842	595
PU 1400/1000/H1 AA	826	178	979 x 826	1322	40	200	889	886	626
PU 1535/1100/H1 AA	860	195	1010 x 860	1376	40	200	920	920	651
PU 1700/1200/H1 AA	900	197	1045 x 900	1440	40	200	955	960	679
PU 1800/1300/H1 AA	936	203	1077 x 936	1498	40	200	987	996	704
PU 1950/1400/H1 AA	978	205	1114 x 978	1565	40	200	1024	1038	734
PU 2100/1500/H1 AA	1011	206	1142 x 1011	1618	60	300	1032	1091	771
PU 2200/1600/H1 AA	1060	214	1189 x 1060	1696	60	300	1079	1140	806
PU 2400/1700/H1 AA	1068	214	1196 x 1068	1709	60	300	1086	1148	812
PU 2500/1800/H1 AA	1118	216	1242 x 1118	1789	60	300	1132	1198	847
PU 2650/1900/H1 AA	1128	232	1250 x 1128	1805	60	300	1140	1208	854
PU 2800/2000/H1 AA	1164	233	1282 x 1164	1862	90	450	1152	1264	894
PU 3100/2200/H1 AA	1216	241	1327 x 1216	1946	90	450	1197	1316	931
PU 3350/2400/H1 AA	1277	243	1382 x 1277	2043	90	450	1252	1377	974
PU 3600/2600/H1 AA	1342	251	1442 x 1342	2147	90	450	1312	1442	1020
PU 3900/2800/H1 AA	1384	263	1479 x 1384	2214	90	450	1349	1484	1049
PU 4200/3000/H1 AA	1458	282	1546 x 1458	2333	90	450	1416	1558	1102



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.





 **POTONGAN MEMANJANG**
Skala 1:1200



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED
DI PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

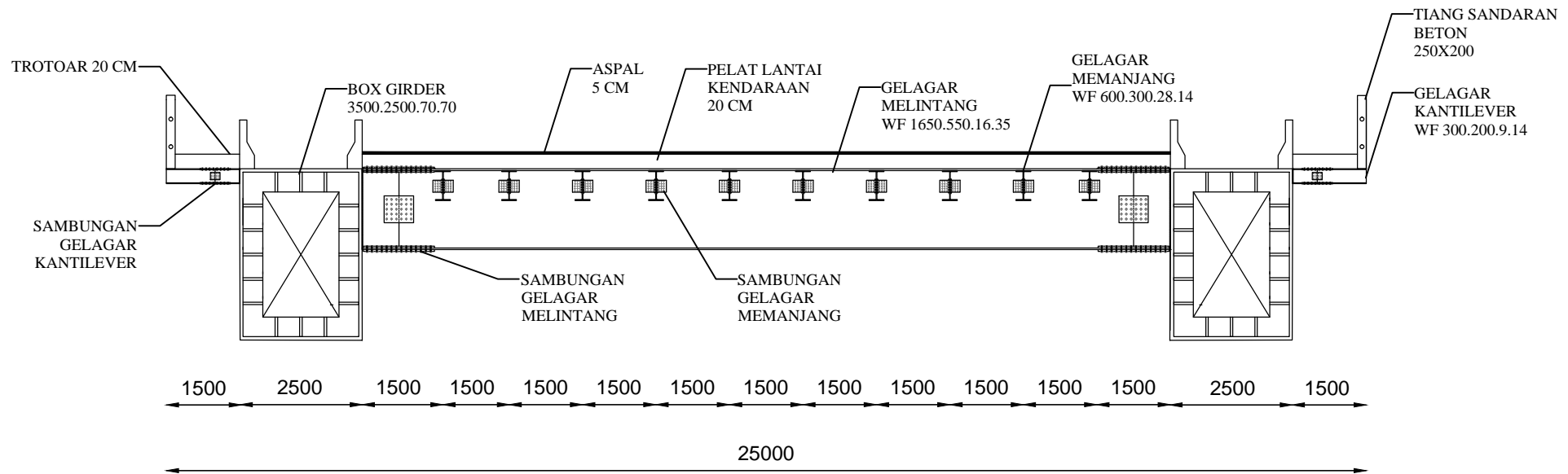
Potongan Memanjang

SKALA

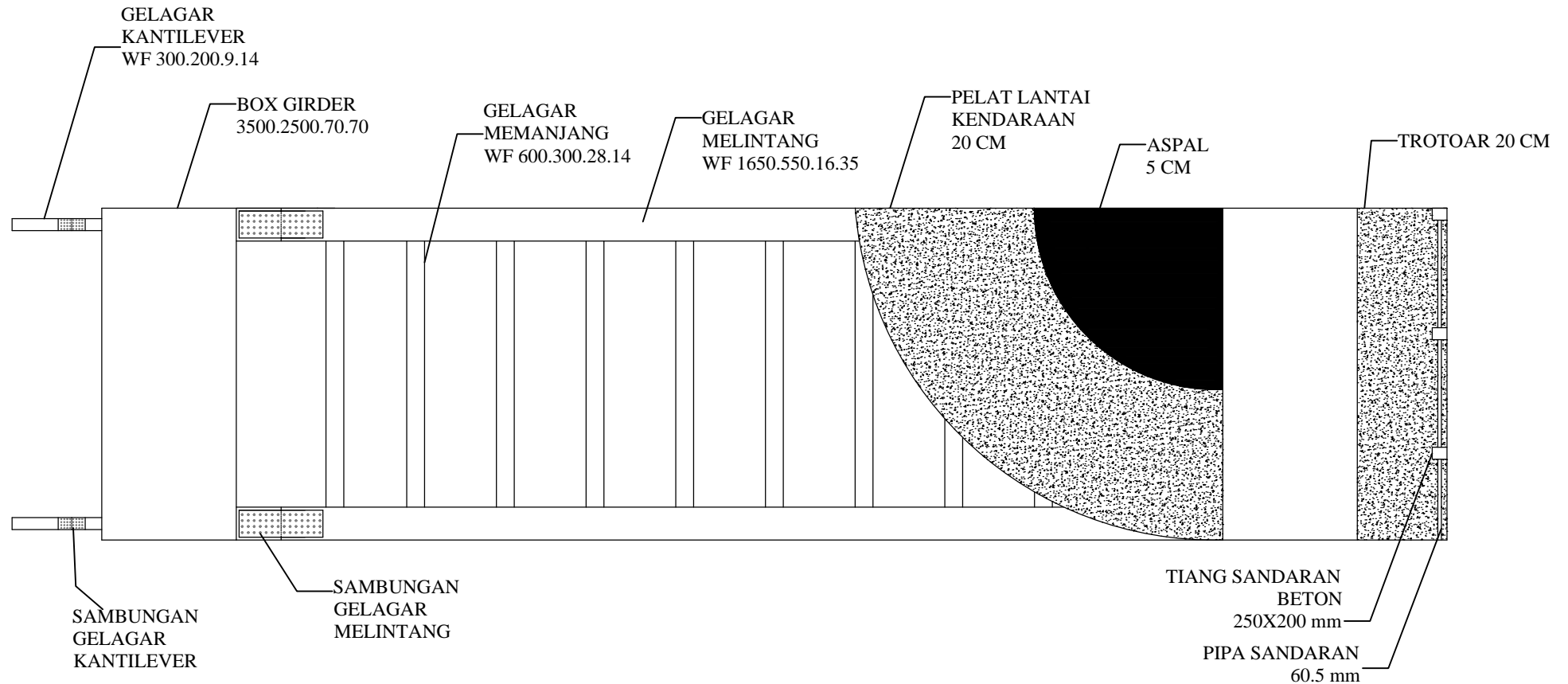
1 : 1200

NO.
GAMBAR

1



	FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN KONSULTASI	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK DENGAN STRUKTUR CABLE STAYED DI PONTIANAK KALIMANTAN BARAT	DR. IR. HIDAJAT SUGIHARDJO M., MS. BAMBANG PISCESCA, ST., MT.	ADHI DHARMA PRASETYO 03111440000142	LANTAI KENDARAAN	1 : 125	3



 **DENAH LANTAI KENDARAAN**
Skala 1:100



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.

BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

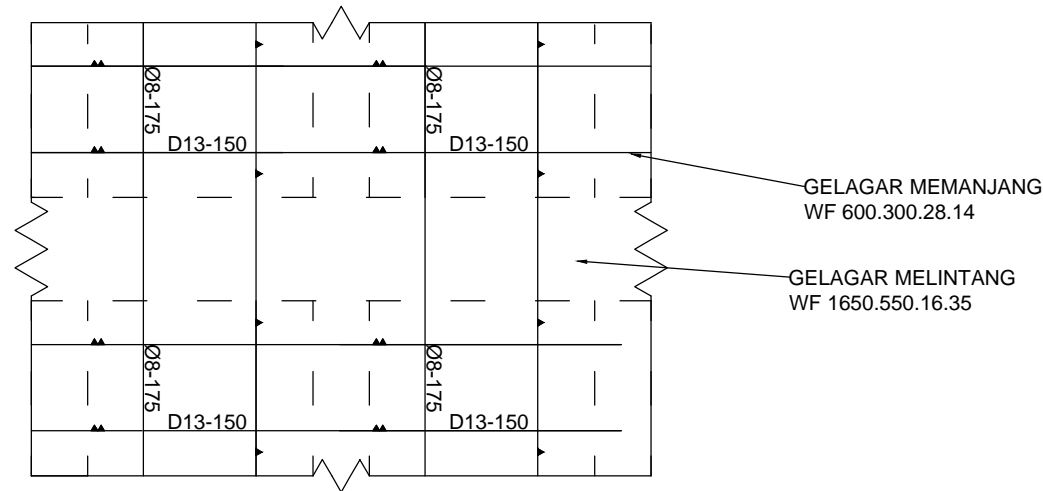
DENAH LANTAI
KENDARAAN

SKALA

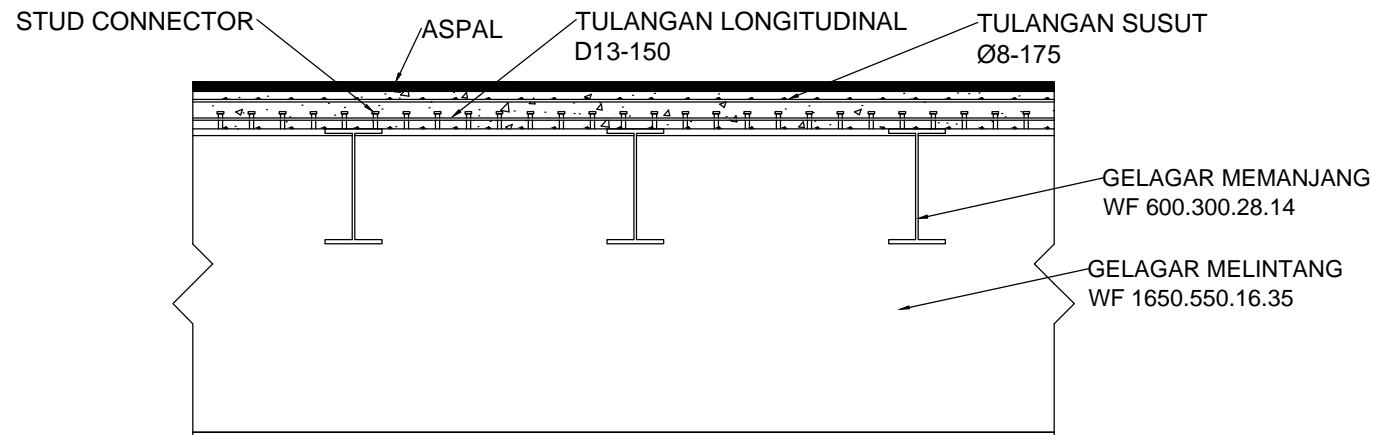
1 : 100

NO.
GAMBAR

4



TAMPAK ATAS
Skala 1:40



TAMPAK SAMPIING
Skala 1:40



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.

BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

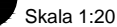
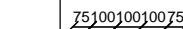
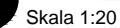
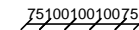
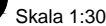
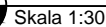
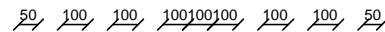
DETAIL PELAT LANTAI
KENDARAAN

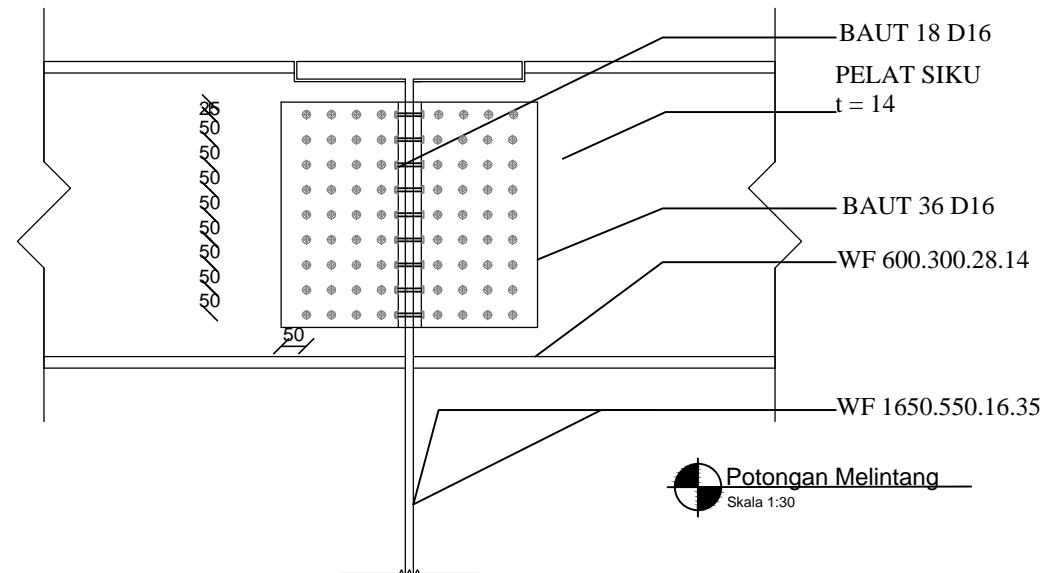
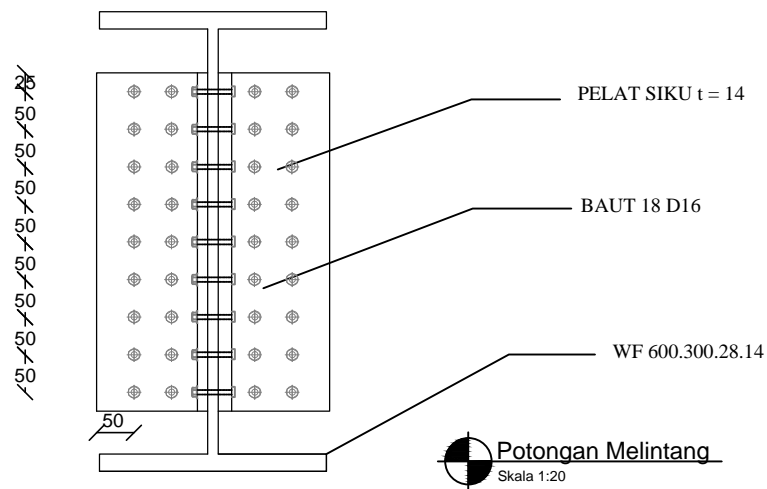
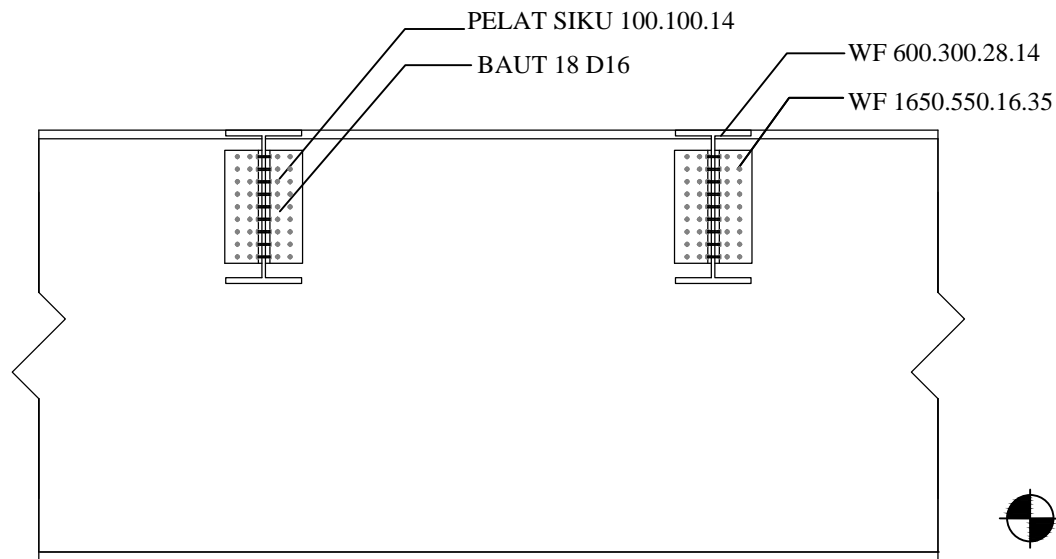
SKALA

1 : 40

NO.
GAMBAR

5





FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT SUGIHARDJO
M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

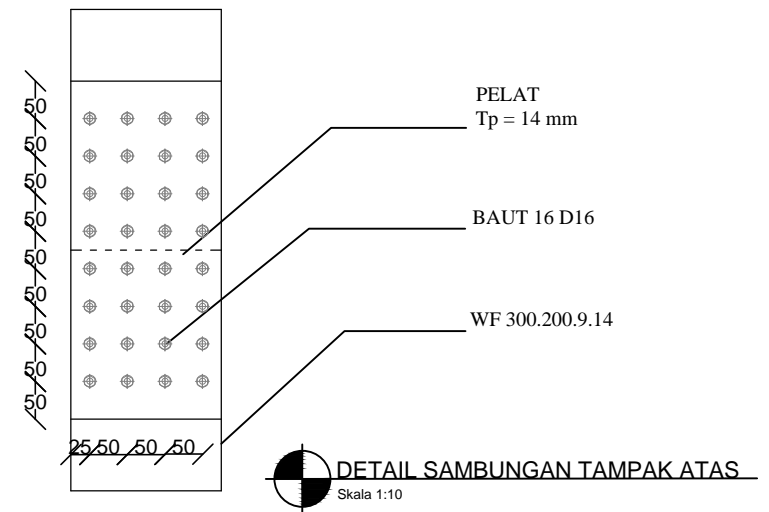
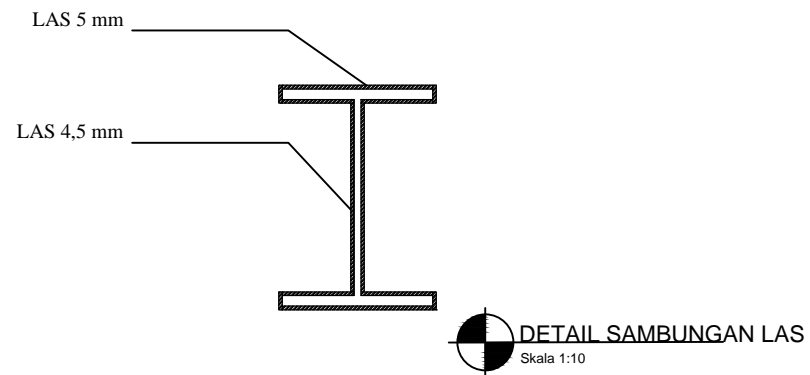
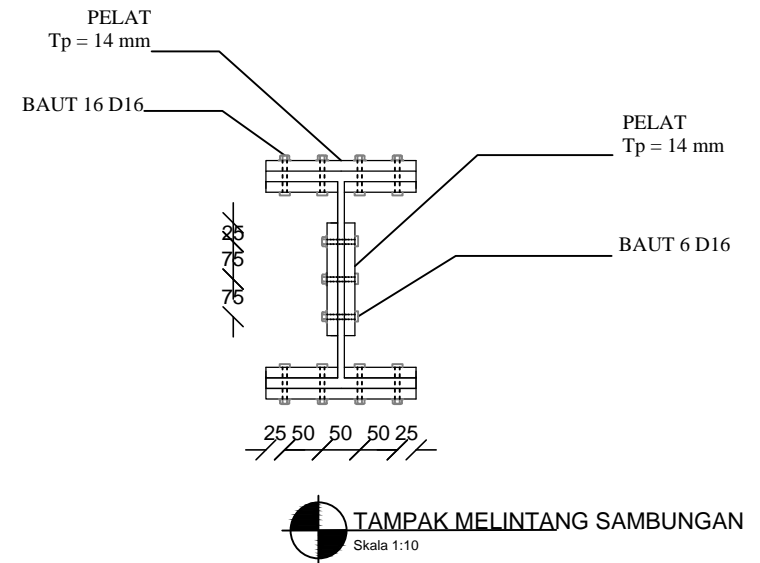
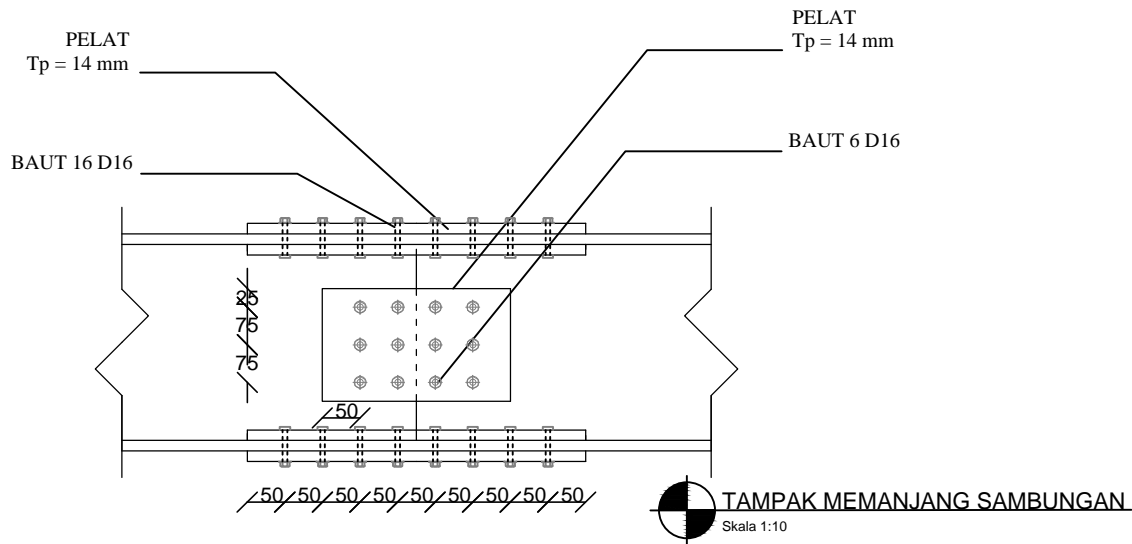
GELAGAR
MEMANJANG

SKALA

1 : 30

NO.
GAMBAR

7



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

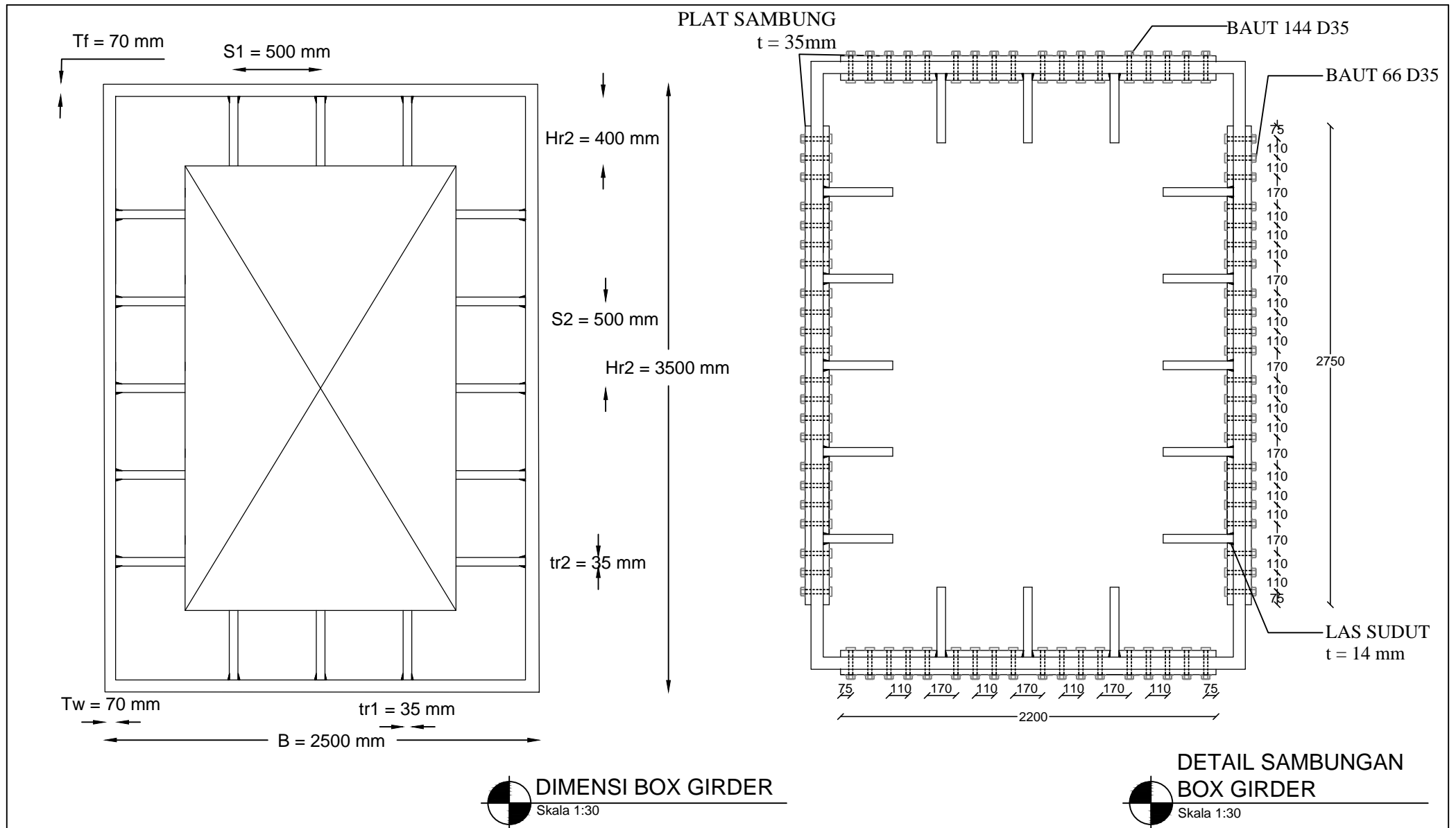
DOSEN KONSULTASI
DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA
ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

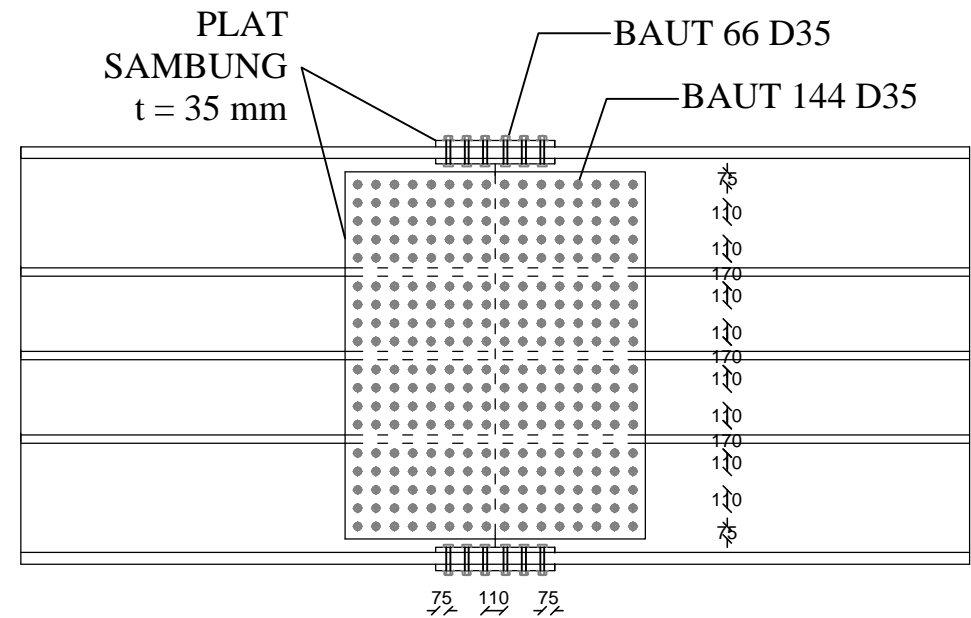
NAMA GAMBAR
GELAGAR
KANTILEVER

SKALA
1 : 15

NO.
GAMBAR
8



	FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN KONSULTASI	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK DENGAN STRUKTUR CABLE STAYED DI PONTIANAK KALIMANTAN BARAT	DR. IR. HIDAJAT SUGIHARDJO M., MS. BAMBANG PISCESCA, ST., MT.	ADHI DHARMA PRASETYO 031114440000142	BOX GIRDER	1 : 45	9

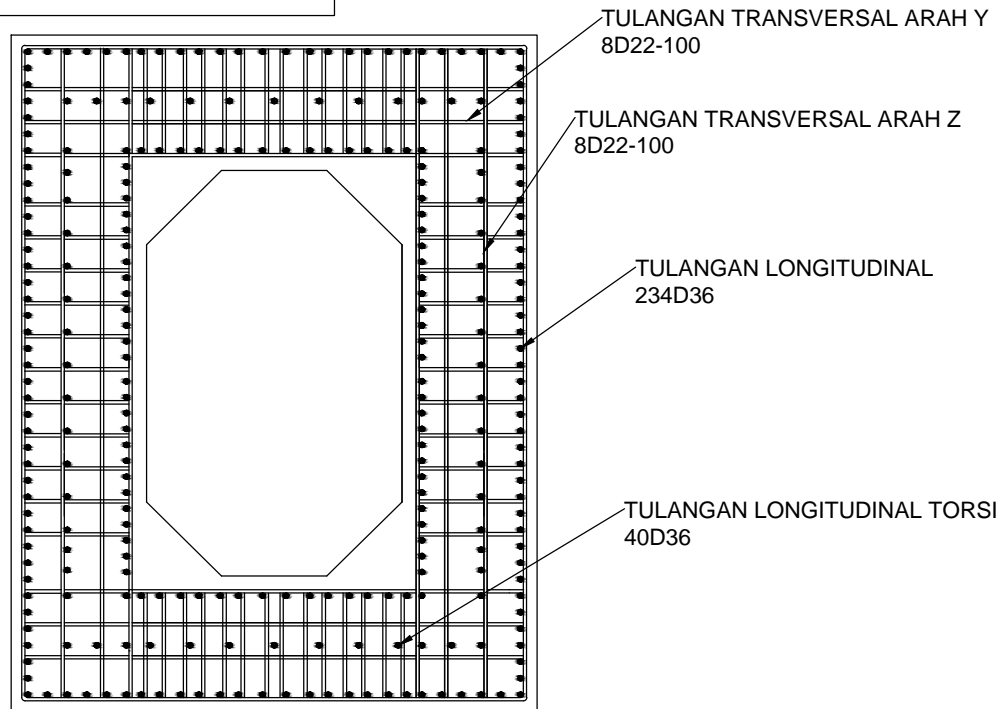
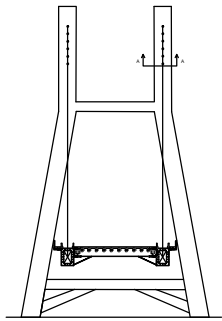



 DETAIL SAMBUNGAN SAYAP BOX GIRDER
Skala 1:45

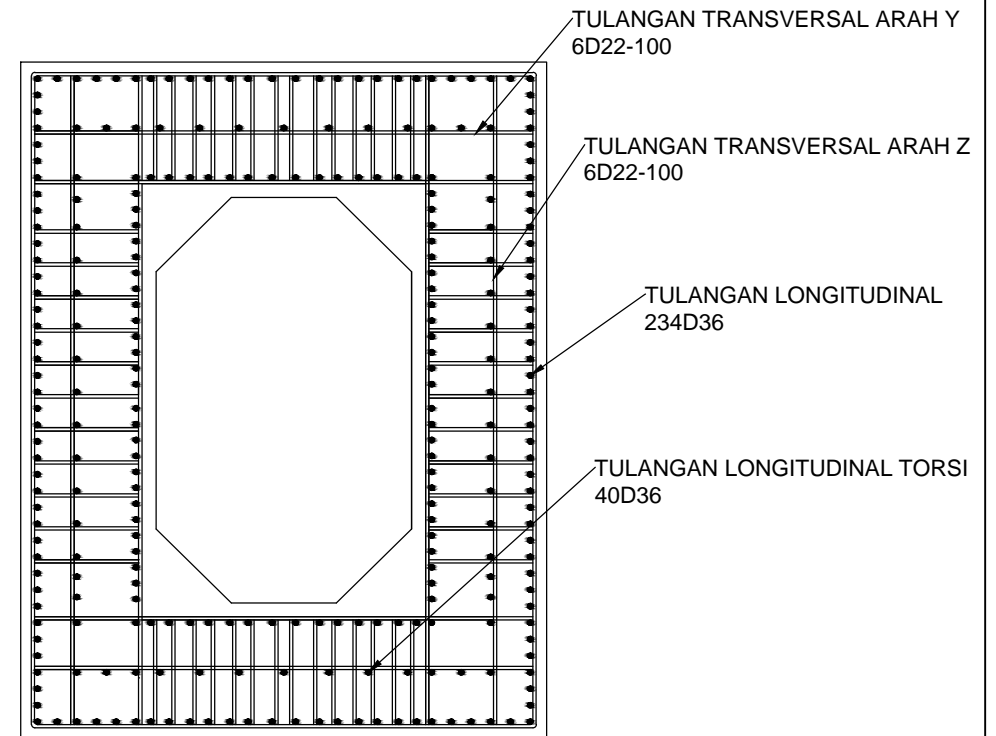


NO.
GAMBAR


10

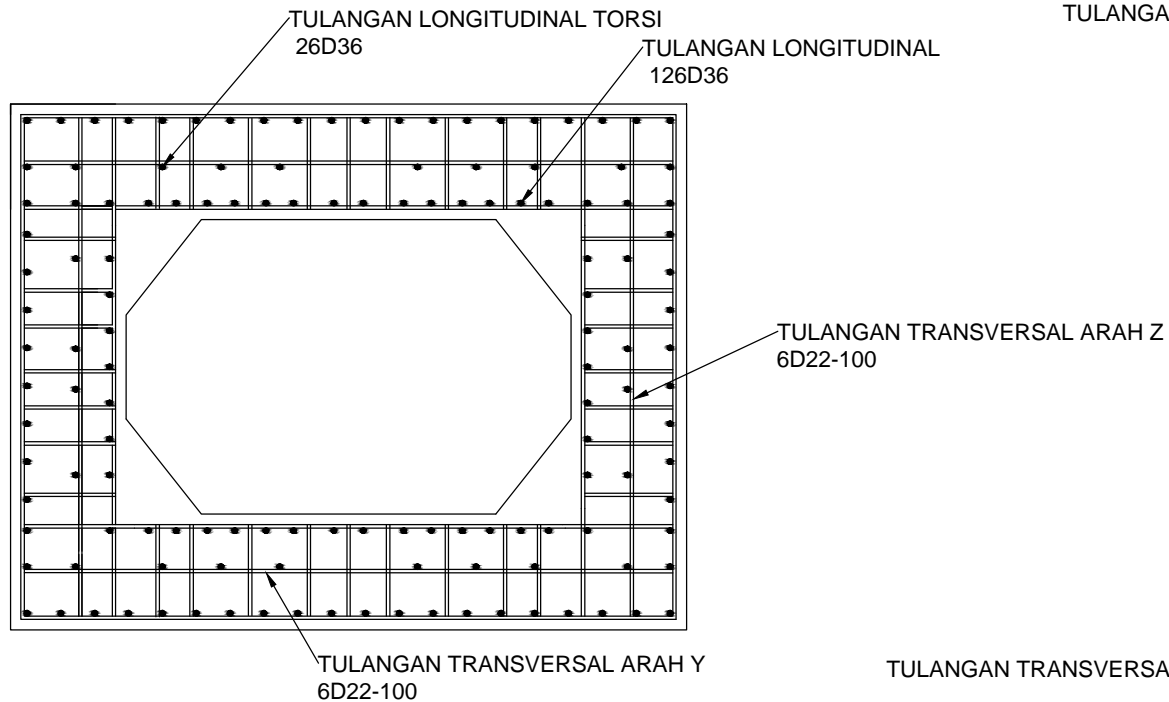
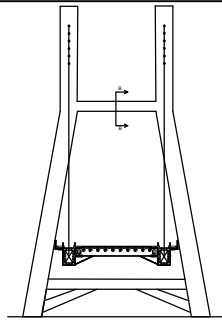


 **DETAIL PENULANGAN SENDI-PLASTIS KOLOM PYLON**
Skala 1:50

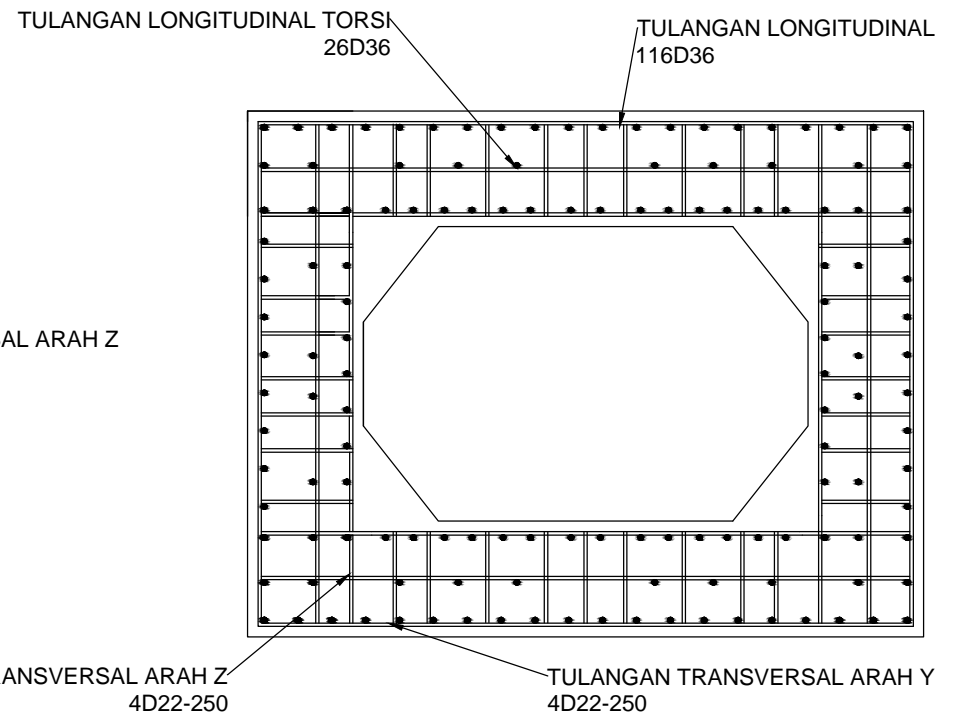


 **DETAIL PENULANGAN LUAR SENDI-PLASTIS KOLOM PYLON**
Skala 1:50

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK DENGAN STRUKTUR CABLE STAYED DI PONTIANAK KALIMANTAN BARAT	DR. IR. HIDAJAT SUGIHARDJO M., MS. BAMBANG PISCESCA, ST., MT.	ADHI DHARMA PRASETYO 03111440000142	DETAIL PENULANGAN KOLOM PYLON	1 : 75	11



 **DETAIL PENULANGAN SENDI-PLASTIS UPPER CROSS BEAM**
Skala 1:50



 **DETAIL PENULANGAN LUAR SENDI-PLASTIS UPPER CROSS BEAM**
Skala 1:50



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST.,
MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

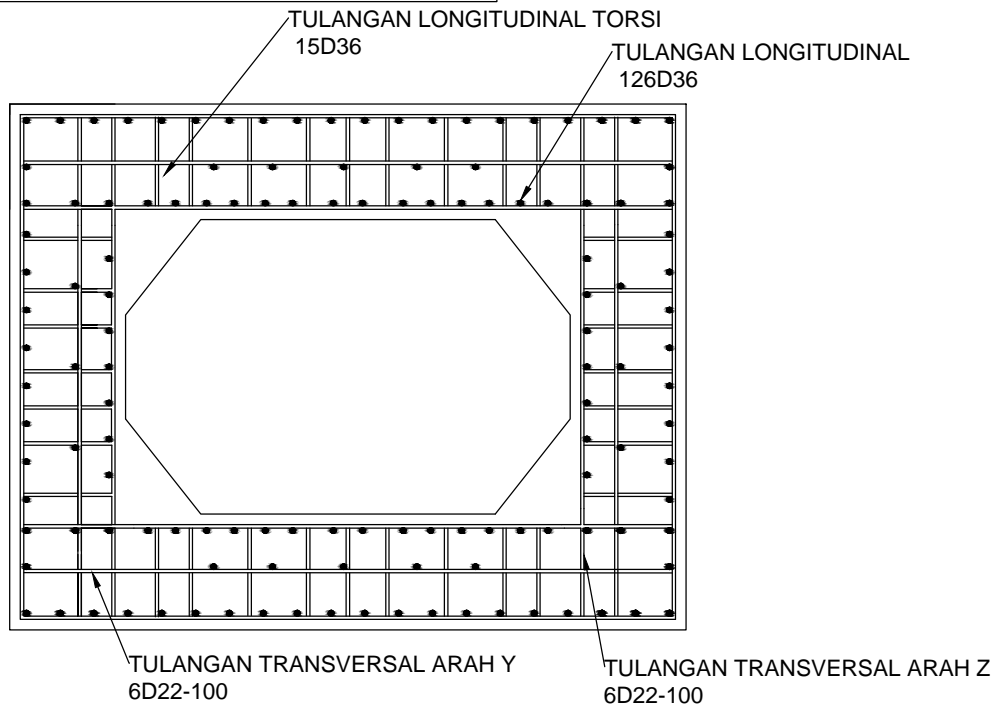
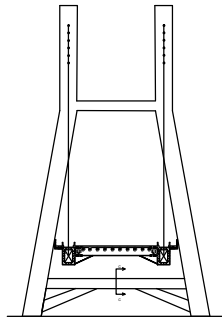
DETAIL PENULANGAN
UPPER CROSS BEAM


SKALA

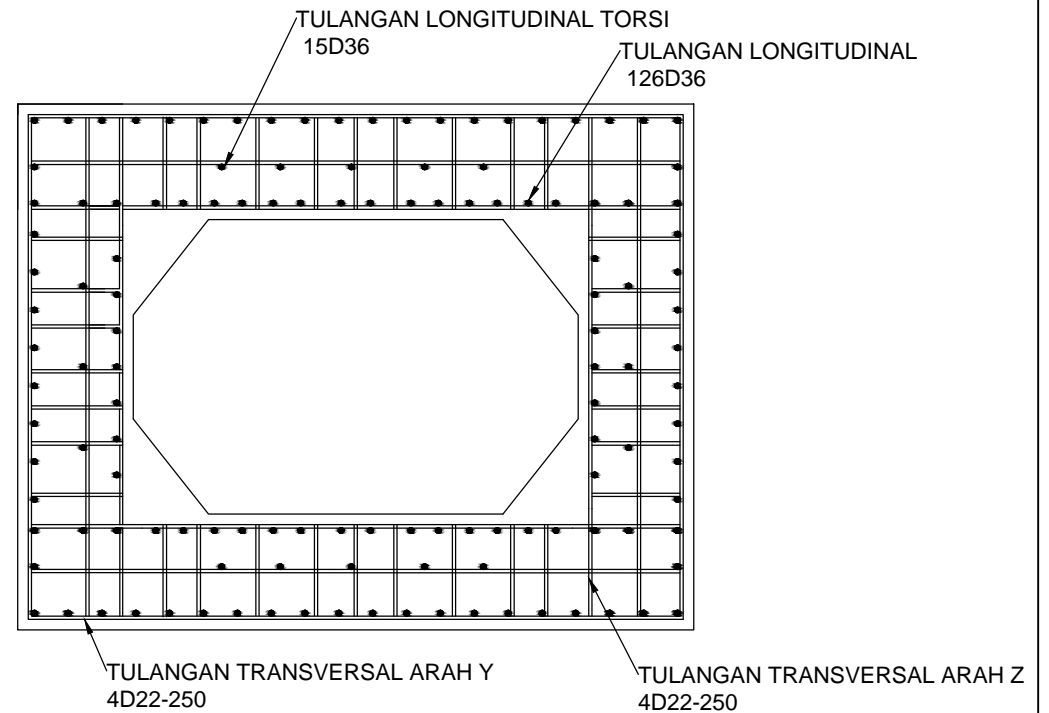
1 : 75

NO.
GAMBAR

12



 **DETAIL PENULANGAN SENDI-PLASTIS LOWER CROSS BEAM**
Skala 1:50



 **DETAIL PENULANGAN LUAR SENDI-PLASTIS LOWER CROSS BEAM**
Skala 1:50



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST.,
MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

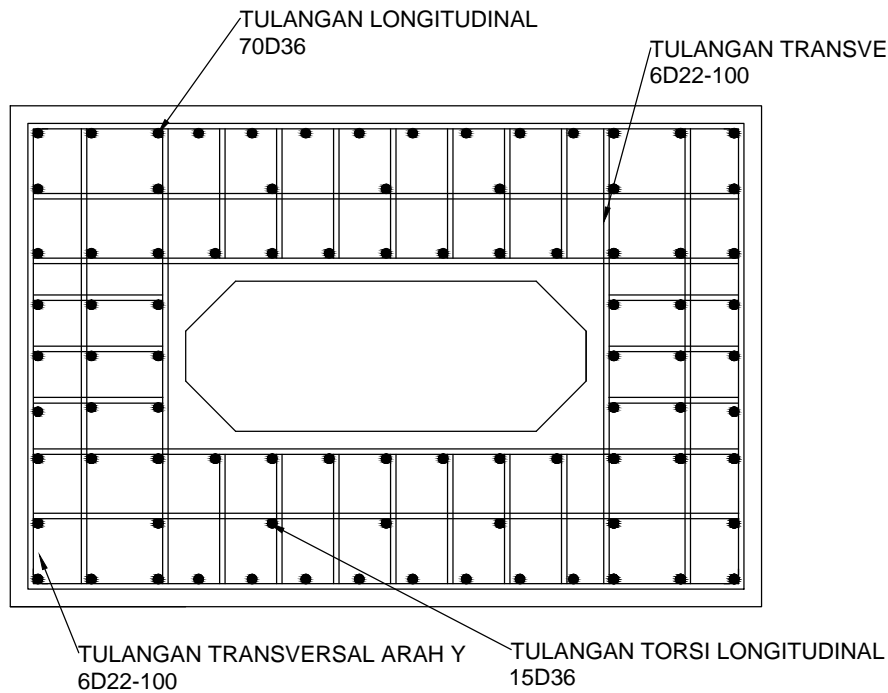
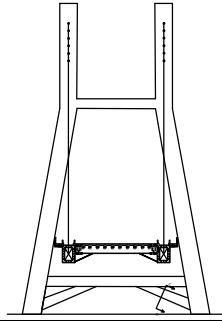
DETAIL PENULANGAN
UPPER CROSS BEAM


SKALA

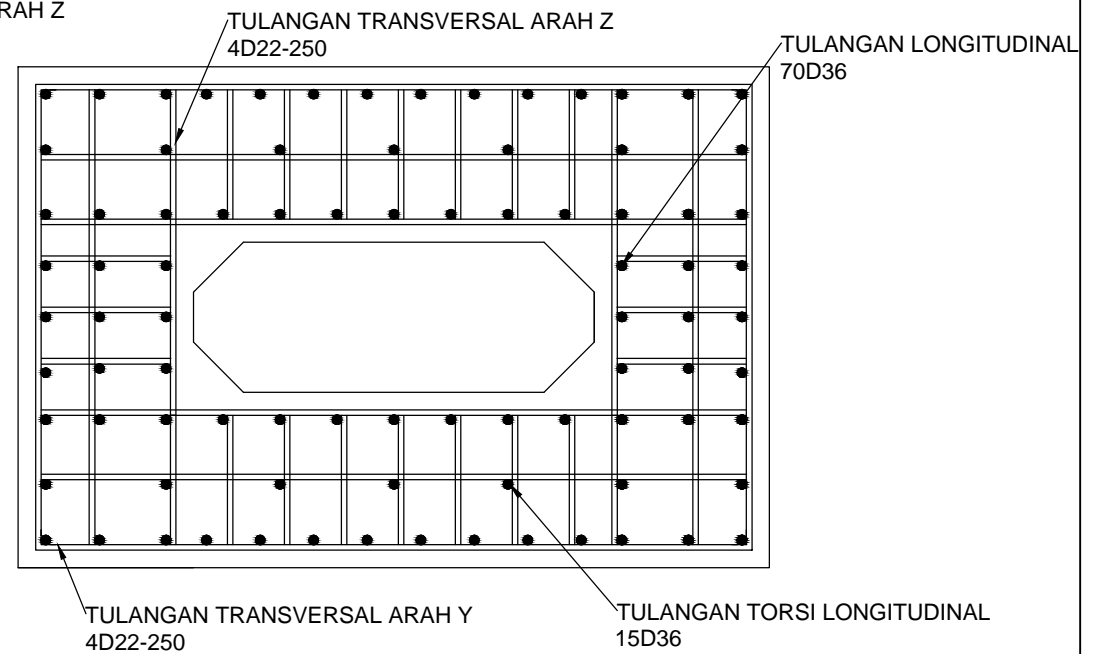
1 : 75


NO.
GAMBAR

13



 **DETAIL PENULANGAN SENDI-PLASTIS STROOT**
Skala 1:30



 **DETAIL PENULANGAN LUAR SENDI-PLASTIS STROOT**
Skala 1:30



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN PEMBIMBING

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST.,
MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

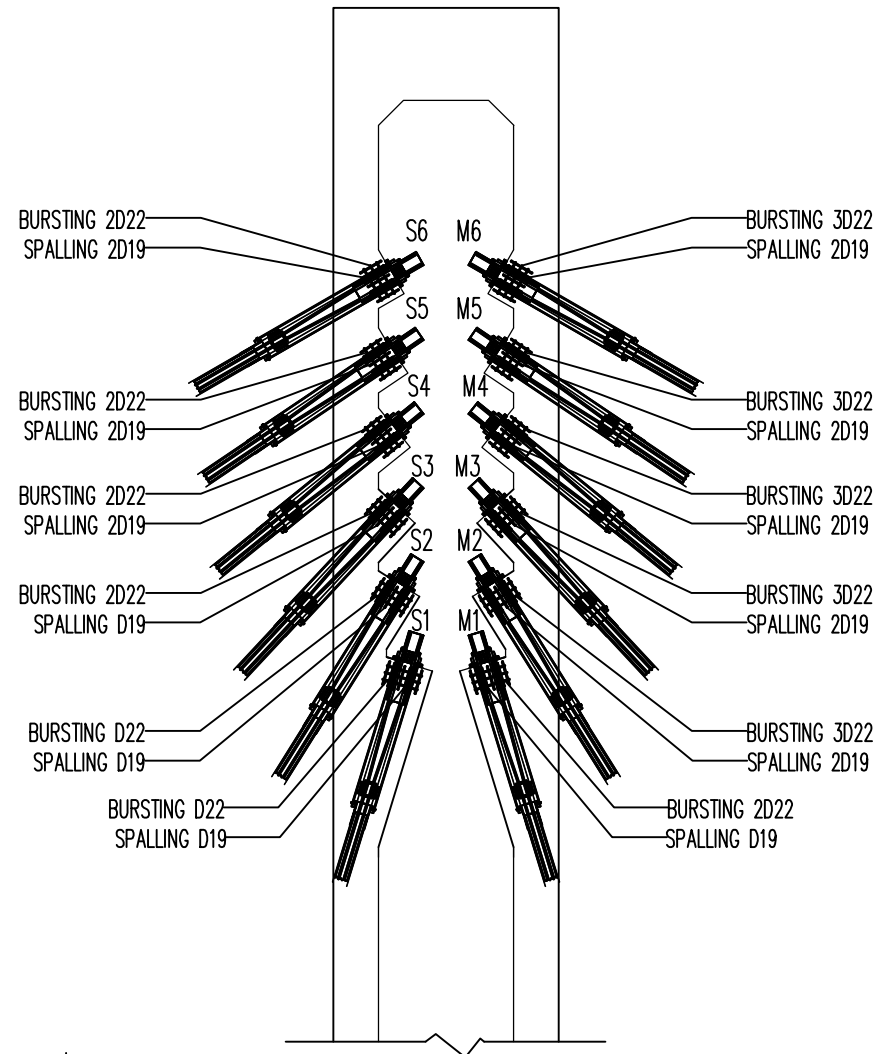
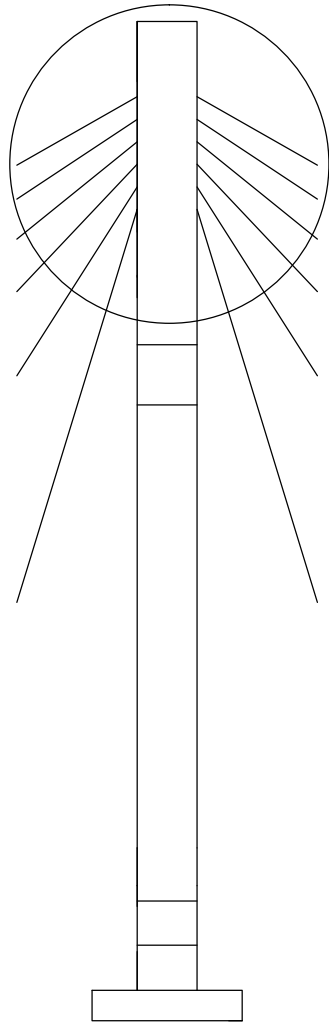
DETAIL PENULANGAN
UPPER CROSS BEAM

SKALA

1 : 75

NO.
GAMBAR

14



DETAIL ANGKUR PYLON

Skala 1:150



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

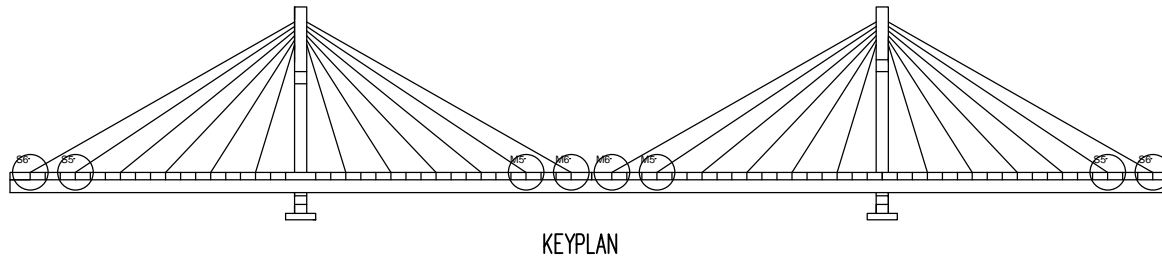
DETAIL ANGKUR PADA
PYLON

SKALA

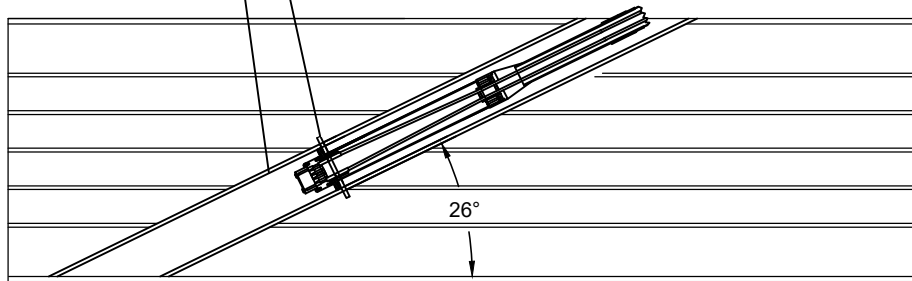
1 : 150

NO.
GAMBAR

15



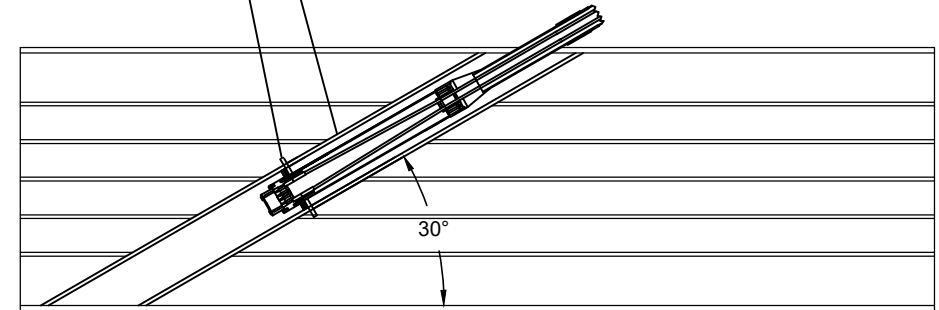
PELAT PERLETAKAN 70 mm
PELAT PENGAKU 80 mm



DETAIL ANGKUR S6 DAN M6 PADA BOX GIRDER

Skala 1:50

PELAT PENGAKU 80 mm
PELAT PERLETAKAN 70 mm



DETAIL ANGKUR S5 DAN M5 PADA BOX GIRDER

Skala 1:50



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

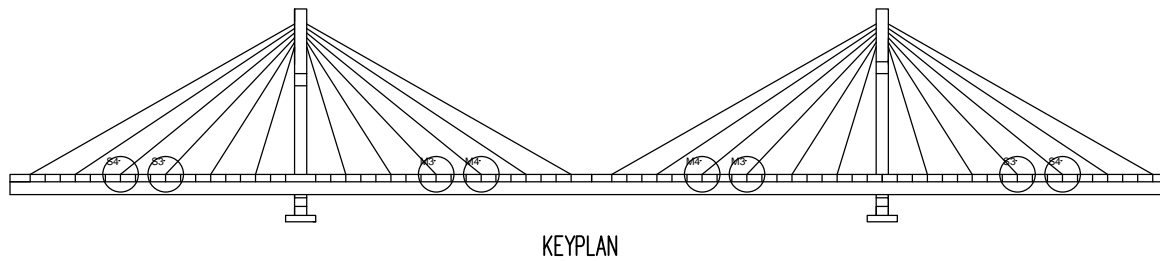
DETAIL ANGKUR PADA
BOX GIRDER

SKALA

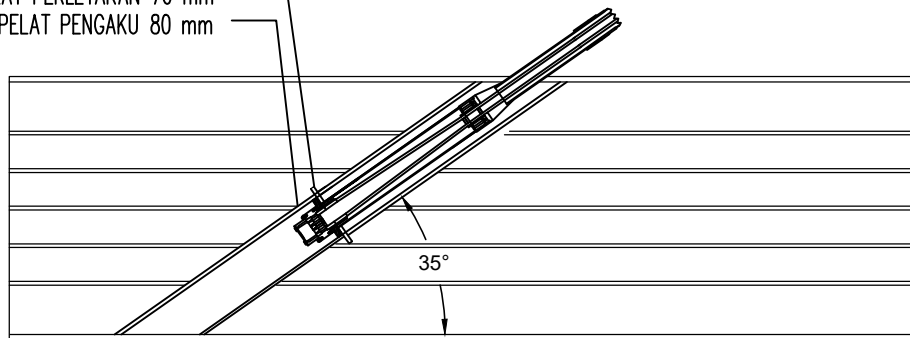
1 : 100


NO.
GAMBAR

16

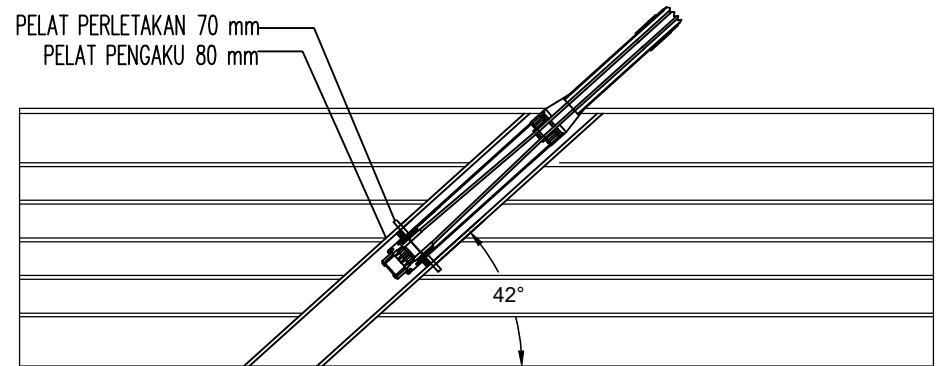



PELAT PERLETAKAN 70 mm
PELAT PENGAKU 80 mm



 **DETAIL ANGKUR S4 DAN M4 PADA BOX GIRDER**
Skala 1:50

PELAT PERLETAKAN 70 mm
PELAT PENGAKU 80 mm



 **DETAIL ANGKUR S3 DAN M3 PADA BOX GIRDER**
Skala 1:50



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.

BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

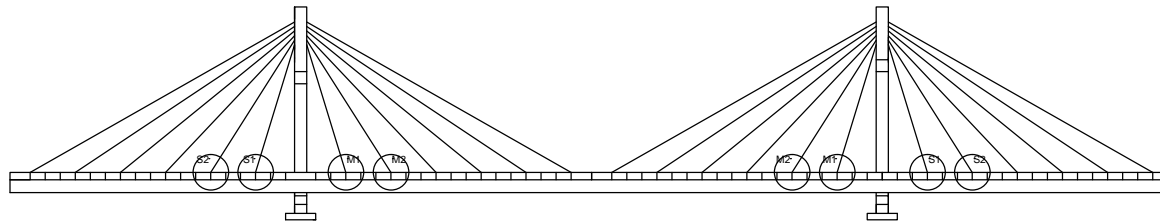
DETAIL ANGKUR PADA
BOX GIRDER

SKALA

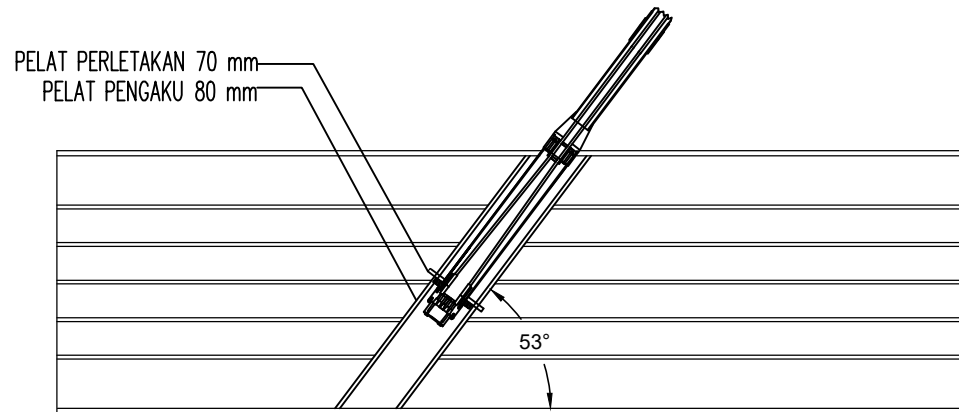
1 : 100

NO.
GAMBAR

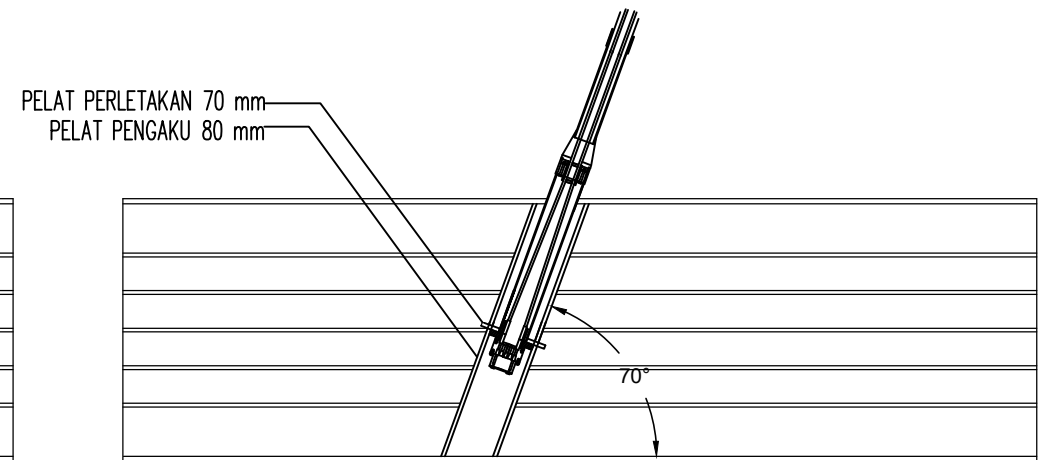
17




KEYPLAN



 DETAIL ANGKUR S2 DAN M2 PADA BOX GIRDER
Skala 1:50



 DETAIL ANGKUR S1 DAN M1 PADA BOX GIRDER
Skala 1:50



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.
BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

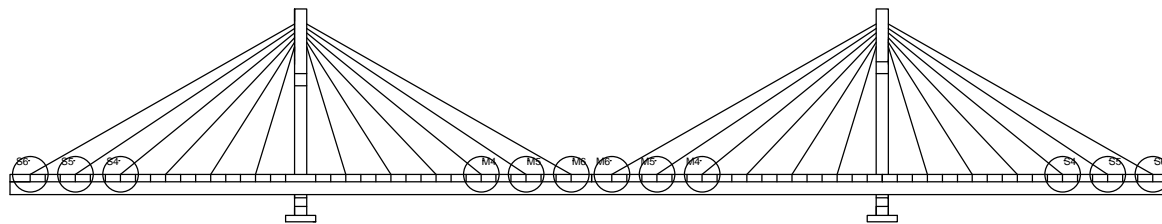
DETAIL ANGKUR PADA
BOX GIRDER

SKALA

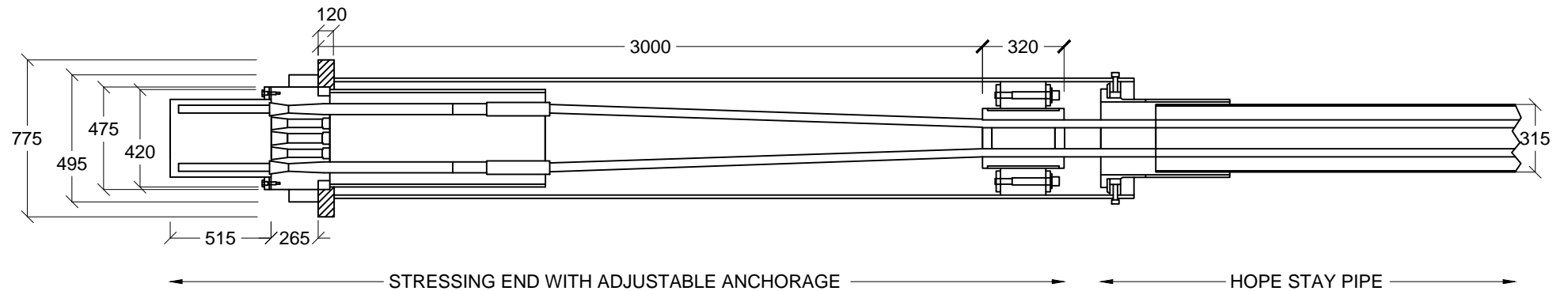
1 : 100


NO.
GAMBAR

18



KEYPLAN



 **DETAIL ANGKUR S6, S5, S4, M6, M5, DAN M4**
Skala 1:25



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.

BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

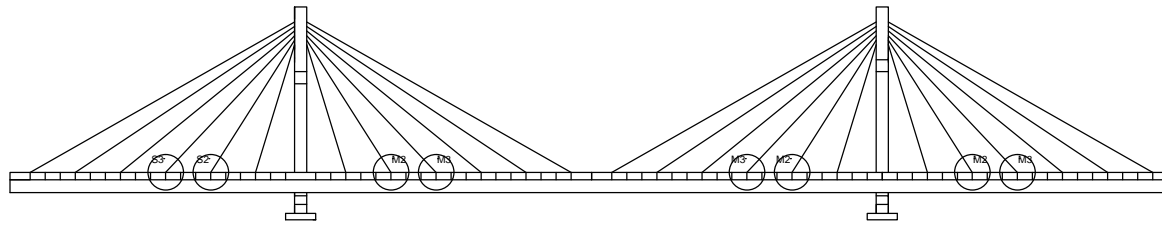
DETAIL ANGKUR

SKALA

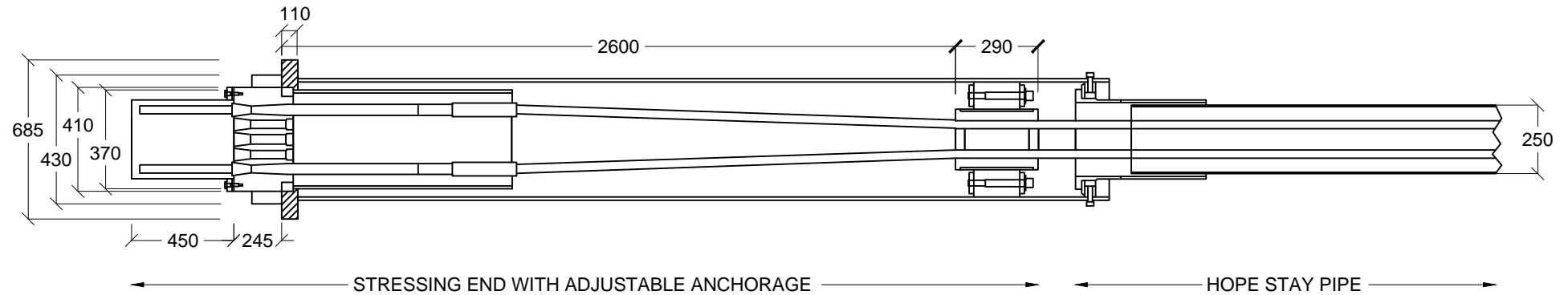
1 : 100


NO.
GAMBAR

19



KEYPLAN



 **DETAIL ANGKUR S3, S2, M3 DAN M2**
Skala 1:25



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
LINGKUNGAN DAN
KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
JEMBATAN LANDAK DENGAN
STRUKTUR CABLE STAYED DI
PONTIANAK KALIMANTAN
BARAT

DOSEN KONSULTASI

DR. IR. HIDAJAT
SUGIHARDJO M., MS.

BAMBANG PISCESCA, ST., MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

ADHI DHARMA PRASETYO
03111440000142

NAMA GAMBAR

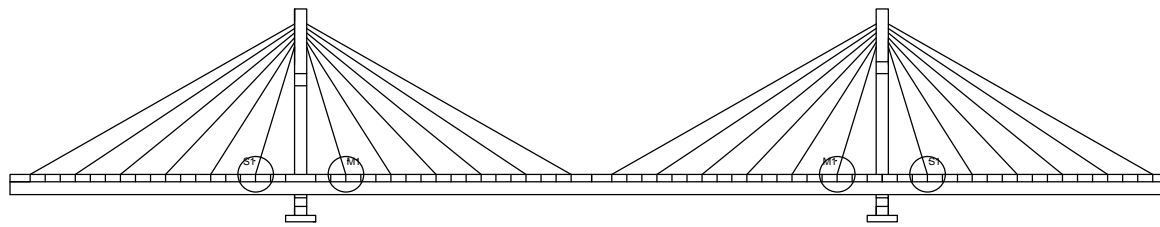
DETAIL ANGKUR

SKALA

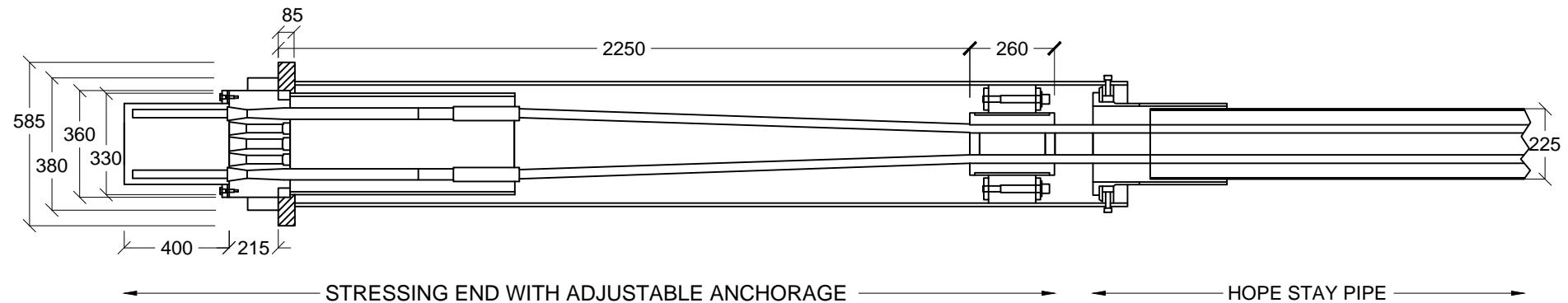
1 : 100


NO.
GAMBAR


20



KEYPLAN



 **DETAIL ANGKUR S1 DAN M1**
Skala 1:25

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN KONSULTASI	NAMA & NRP MAHASISWA	NAMA GAMBAR	SKALA	NO. GAMBAR
		MODIFIKASI DESAIN JEMBATAN LANDAK DENGAN STRUKTUR CABLE STAYED DI PONTIANAK KALIMANTAN BARAT	DR. IR. HIDAJAT SUGIHARDJO M., MS. BAMBANG PISCESCA, ST., MT.	ADHI DHARMA PRASETYO 03111440000142	DETAIL ANGKUR	1 : 100	21

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Adhi Dharma Prasetyo, lahir di Banjarmasin, 9 November 1996 yang merupakan putra dari pasangan Ir. Edy Sudarmadi dan Shinta Laksmi Dewi, SE. Sebelumnya penulis telah mengenyam pendidikan di SDN Banjarbaru Utara 2, SMPN 1 Banjarbaru, dan SMAN 1 Banjarbaru. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan diterima di Jurusan Teknik Sipil pada tahun 2014. Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang struktur, dengan NRP 03111440000142.

Selama dalam masa perkuliahan, penulis aktif dalam bidang organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah menjadi pengurus HMS FTSP ITS pada tahun kedua dan ketiga yang berfokus pada Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa. Penulis dapat dihubungi melalui email prasetyoadhidharma@gmail.com.